UNIVERSITÉ DE GENÈVE

FACULTÉ de PSYCHOLOGIE et des SCIENCES DE L'ÉDUCATION

Former l'esprit scientifique en privilégiant l'initiative des élèves dans une démarche s'appuyant sur l'épistémologie et l'histoire des sciences

CANEVAS DE THÈSE

présenté par

Jean-Yves Cariou

Commission de Thèse :

André Giordan, professeur FPSE, Université de Genève, Laboratoire de Didactique et d'Epistémologie des Sciences.

Jack Guichard, Professeur des universités, directeur du Palais de la Découverte, Paris.

Francine Pellaud, MA, FPSE, Université de Genève, Laboratoire de Didactique et d'Epistémologie des Sciences.

SOMMAIRE

Introduction

1. ENRACINEMENT HISTORIQUE ET PÉDAGOGIQUE

1.1. Les enjeux, de Montaigne à Piaget
1.1.1. Une formation de l'esprit par les sciences
1.1.2. Deux esprits scientifiques
1.2. Les constats
1.3. Les causes de l'échec

2. PROBLÉMATIQUE

2.1. Une situation bloquée ?
2.2. Proposition d'un outil : DiPHTeRIC
2.2.1. Origine de l'outil
2.2.2. Proposition d'un modèle pédagogique
2.3. Hypothèse sur l'outil proposé

3. MÉTHODOLOGIE

3.1. « Cahier des charges » des enseignants collaborateurs
3.2. Outils d'évaluation
3.2.1. Pré- et post-tests encadrant l'enseignement préconisé
3.2.2. Recueil des propositions d'élèves
3.2.3. Questionnement des enseignants et des élèves

PROLONGEMENTS

Un outil pensé pour la pratique enseignante

Plan de réalisation des différentes étapes de la recherche

Références bibliographiques citées

Introduction

Former l'esprit scientifique des élèves est une tâche dans laquelle se reconnaissent volontiers les enseignants scientifiques. Mais au-delà de cet objectif noble et consensuel, le débat devient plus délicat lorsqu'il s'agit de définir ce qu'on souhaite atteindre, comme les moyens d'y parvenir. Après un tour d'horizon des déclarations d'intention aussi bien historiques que contemporaines et des résultats obtenus, cette thèse se propose de présenter l'élaboration et la mise en œuvre dans les classes d'un outil destiné à favoriser une formation de l'esprit telle que nous la définissons.
Cet outil, conçu à partir d'analyses portant sur l'épistémologie et l'histoire des sciences, est avancé dans l'optique d'une didactique laissant aux élèves une *part d'initiative* conséquente. Un élément que nous estimons décisif pour que puisse se forger et s'exercer ce qui caractérise l'esprit scientifique, ainsi que cet aspect de la pensée qui en est proche, l'esprit critique.

Ce qui apparaît comme fondamental dans l'*esprit scientifique* est historiquement variable selon les auteurs : logique déductive pour certains tel Descartes, (1637), observation des faits (Newton, 1687, Condillac, 1780), inventivité (Whewell, 1840), intuition (Einstein, 1934), *sens du problème* (Bachelard, 1938) ou encore recherche d'objectivité (Chalmers, 1990) –sans, d'ailleurs, que ces aspects s'excluent nécessairement les uns les autres. Ces auteurs s'appuient sur ce qu'ils voient ou pensent voir à l'œuvre dans la recherche scientifique, la leur ou celle des autres.
L'enseignant, s'il souhaite s'appuyer sur les caractéristiques de cette recherche, constituant alors pour les activités scolaires une *pratique sociale de référence* (Martinand, 1986), bénéficie heureusement d'une vision contemporaine en grande partie consensuelle sur son déroulement.

À la fin du XIX^{e} et au début du XX^{e} siècle se dégage un schéma général du cheminement scientifique et de la pensée investigatrice (Whewell, 1860 ; Chevreul, 1865 ; Bernard, 1865 ; Popper, 1934) en même temps qu'est perçue l'importance de la transposition de cette pensée dans le domaine éducatif (Dewey, 1909).
En Europe, un homme de science rompu à la méthode expérimentale et devenu éducateur marque, par ses conceptions et par son œuvre, cette conjonction, et constitue une figure emblématique pour nos travaux. Il résume en 1919 la pédagogie nouvelle qu'il prône, *« développant l'initiative, l'indépendance d'esprit et le sens critique »*, et définit ce qu'il souhaite voir acquérir par les éducateurs et, à travers eux, par leurs élèves : *« l'esprit scientifique, c'est-à-dire l'aptitude à s'étonner devant les faits (…), le désir de questionner ces faits, et d'essayer d'obtenir une réponse en leur appliquant l'observation méthodique et l'expérimentation. C'est pour répondre à ce desideratum que nous avons créé à Genève, en 1912, l'Institut J. J. Rousseau, qui est à la fois une école des sciences de l'éducation (…) et un laboratoire de recherches. »* Edouard Claparède, médecin et psychologue genevois, rappelle ainsi l'un des éléments majeurs qui présida, deux siècles après la naissance du philosophe, à la fondation de l'institut portant son nom, future FPSE. Il y développe, et avec lui son élève également biologiste, le jeune Jean Piaget, des idées sur l'esprit scientifique qui résument l'essentiel de notre projet.
L'article de 1919 ne couvre que cinq petites pages, mais la richesse des idées qu'y lance Claparède impressionne. Quatre autres formules fulgurantes définissent ses objectifs, qui sont aussi, pour la formation intellectuelle des élèves, les nôtres : les méthodes *« gravitant autour de l'enfant »*, et non plus l'inverse, *« révolution "copernicienne" à laquelle la psychologie convie l'éducateur »* ; *« substitution de l'activité et de l'initiative de l'enfant à l'obéissance passive »*, où apparaît ce lien entre *activité* et *initiative* si distendu aujourd'hui ; maître *« stimulateur d'intérêts »* de l'enfant, veillant à *« la mise en branle de ses démarches intellectuelles »* et, face au reproche de laisser les enfants *« faire tout ce qu'ils veulent »*, cette réplique aussi brillante que profonde : *« je préfère retourner la formule, et dire que, à la Maison des Petits, on désire que les enfants* veuillent tout ce qu'ils font*. »*
Claparède en appelle à l'initiative, à l'esprit scientifique et à son objectivité (déjà en 1905) dans cette Genève savante qui possède une tradition de recherche expérimentale (Hameline, 1993), et où s'est illustré son oncle biologiste, couronné à Paris par l'Académie des Sciences (1861) en pleine période de la gloire de Claude Bernard. C'est aussi à Genève que, bien avant ce dernier, Jean Sénebier (1783, 1802) publie des ouvrages qui contiennent des considérations méthodologiques très modernes : il souhaite qu'on indique "les routes qu'on a suivies vainement", se prononce sur la relativité des observations et intitule un chapitre "règles pour faire des hypothèses" (1802), thème qui sera cher ultérieurement à Claparède.
Un autre de ses articles (1917) est aussi une référence fondamentale pour notre projet. Il y montre combien sa vision éducative est basée sur la méthode expérimentale telle que l'ont présentée Sénebier puis Bernard, et qu'il connaît lui-même par sa pratique. Il définit l'intelligence comme *« la capacité de résoudre par la pensée des problèmes nouveaux »* ; *« il n'y a pas d'intelligence sans recherche ».* Son fonctionnement est un mouvement de réajustement en trois phases : *question* ou problème ; *découverte de l'hypothèse* ; *contrôle* de l'hypothèse imaginée. La solution de problèmes d'intelligence *« exige toujours la formation d'hypothèses ».*
Décrire ainsi ces démarches et les préconiser en classe est d'autant plus remarquable qu'il s'agit d'une époque où les voisins français des Genevois, bien loin de recommander le recours aux hypothèses, ne jurent que par les faits et l'induction (Hulin, 2000 et 2002 ; Kahn, 1999 et 2002).

Nous nous plaçons également sous l'égide de Claparède en songeant à sa mise au point sur « *Les deux sens du mot "activité" »* (1923). *« Est active une réaction qui correspond à un besoin, qui est déclenchée par un désir (…), par un*

mobile intérieur à l'être agissant. Dans ce sens n° 1, activité s'oppose à contrainte, obéissance (…). » Le sens n°2 est celui d'effectuation, de production, s'opposant à immobilité. *« Notons que l'activité du sens n°2 peut être associée aussi bien à l'activité qu'à la passivité du sens n°1. »*

Ces propos, on le verra, s'appliquent tout aussi bien aujourd'hui. Ils montrent que ce ne sont pas des idées nouvelles, tout en donnant la mesure du glissement, comme disait Claparède, entre les deux sens. Ainsi en France, exemple sur lequel porte essentiellement la suite de notre travail, les activités au sens 1 de Claparède, celui qui correspond à la mise en jeu de l'esprit scientifique dans une recherche, cèdent largement la place aux activités au sens 2, où les élèves ne sont que simples exécutants.

1. ENRACINEMENT HISTORIQUE ET PÉDAGOGIQUE

1.1. Les enjeux, de Montaigne à Piaget

1.1.1. Une formation de l'esprit par les sciences

L'enseignement des sciences s'est trouvé, plus que tout autre et dès ses premiers textes fondateurs, chargé d'enjeux éducatifs, paré de vertus émancipatrices. Si les sciences ne trouvaient guère leur place parmi les trois plumes du chapeau de l'instituteur itinérant de l'ancien régime, symboles de la lecture, de l'écriture et du calcul (Terral, 1999), les vibrants discours tenus du haut des tribunes révolutionnaires par Condorcet (1792) et Lakanal (1794) sur l'instruction publique les mirent au premier rang pour la formation de l'esprit.

Le premier justifie la primauté qu'il accorde aux disciplines scientifiques par le fait que leur étude est pour beaucoup d'hommes *« le moyen le plus sûr de développer leurs facultés intellectuelles »*. Condorcet marche dans les pas de Rousseau, allant jusqu'à proposer tout comme lui un type de problème à soumettre aux élèves : *« l'effet que l'on veut obtenir étant donné, trouver une machine qui le produise »* (1791), à l'instar d'*Émile* devant trouver comment attirer l'étrange canard de cire d'un bassin de foire (1762).

Cette visée formatrice fait écho aux propos célèbres de Montaigne qui voulait plutôt *« un habile homme qu'un homme savant »* et préférait les têtes bien faites aux bien pleines, que Rousseau suit en s'attachant moins aux fruits de la science qu'aux chemins pour les cueillir : *« Un esprit, (…) comme dit Montaigne, sinon instruit, du moins instruisable. (…) Car encore une fois, mon objet n'est point de lui donner de la science, mais de lui apprendre à l'acquérir au besoin »* (1762).

Au XIX^{e} siècle, les proclamations sur la formation de l'esprit par les sciences se succèderont (Marie Pape-Carpentier dès 1849, Octave Gréard (1868), Paul Bert (1880 et 1882) *in* Kahn, 2002). *« Il faut inspirer avant tout aux jeunes gens l'esprit scientifique »*, écrit Claude Bernard en 1865. On peut lire dans la *Revue pédagogique* de juin 1883 que *« Le don vraiment précieux, inestimable entre tous, c'est de susciter en [l'enfant] cet esprit de libre examen (…) que l'on nomme l'esprit scientifique. »* (Kahn, 2002).

L'impulsion est donnée. En 1913, la pensée de Dewey traverse l'atlantique grâce à… Claparède, qui préface longuement la traduction de plusieurs de ses articles en établissant les connexions avec sa propre pensée (Schneider, 2000). Dès 1884, Dewey soulignait que la caractéristique de l'esprit non-scientifique (*non-scientific mind*) était le fait de ne pas avoir conscience des problèmes. En 1896, il dénonce l'absurdité de *« tâches qui sont purement et simplement des tâches »*, parle du "sens du problème" en 1909 ; Claparède (1913) reprend : *« il faut faire naître dans son esprit un problème qu'il aura envie de résoudre ».*

Il réfléchit, lui aussi, à *Comment nous pensons* (1909, traduit par O. Decroly en 1925), et propose comme idée unificatrice et centrale pour l'enseignement *« cette attitude de l'esprit que l'on nomme scientifique »*. Il détaille ses vues avec un schéma en 5 étapes, dont les deux premières, dit-il, se confondent souvent, et qui évoque fortement, comme celui de Claparède, le schéma donné par Claude Bernard (1865). Ce qu'on retrouve chez Piaget dans sa "méthode clinique" : *« le clinicien se pose des problèmes, fait des hypothèses, fait varier les conditions en jeu, et enfin contrôle chacune de ses hypothèses »* (Piaget, 1926). Cette méthode n'est, là aussi, rien d'autre que l'adaptation de la méthode scientifique (Ducret, 2004).

En 1949, Piaget prononce à la tribune de l'Unesco un discours important sur le développement de l'esprit scientifique, présentant des données psychologiques pouvant servir de fondements à l'enseignement. Professeur de *philosophie des sciences* à Neuchâtel (1925-29) puis d'*histoire de la pensée scientifique* à Genève (1929-39), la méthodologie scientifique est, précisément, l'un de ses domaines de prédilection. *« Si l'un des buts essentiels de l'enseignement est*, dit-il, *la formation d'une intelligence active, apte au discernement critique et personnel ainsi qu'à la recherche constructive, l'initiation aux sciences naturelles (…) réunit les deux conditions principales d'une telle formation de l'esprit. Plus que tout autre enseignement, elle favorise la libre activité de l'élève, et elle développe l'esprit scientifique »*. Le maître doit déclencher chez l'enfant « *le besoin de vérifier tout ce qu'il entrevoit par lui-même »*, et non pas tout préparer de façon à faire de l'expérience *« une sorte de lecture obligée »*, mais *« provoquer chez l'élève une invention des expériences elles-mêmes en se bornant à lui faire prendre conscience des problèmes (…), jusqu'à faire de lui un expérimentateur actif qui cherche et trouve des solutions (…) par ses propres moyens intellectuels ».*

Ainsi, confronté à des problèmes, comme l'est le savant, l'élève doit utiliser ses propres forces intellectuelles pour entrevoir des solutions, et imaginer des expériences qu'il ne se contente pas de subir : les modalités d'une initiation scientifique formatrice de l'esprit sont claires pour Piaget.
« *Esprit scientifique d'abord* », c'est aussi ce à quoi aboutit Freinet (1962) : « *si vous leur avez donné l'esprit scientifique, si vous avez sauvegardé en eux, puis activé leur curiosité naturelle, leur besoin inné de chercher, d'expérimenter et de créer, ils se retrouveront toujours dans leur élément* ». Si Freinet semble souvent accorder la primauté à l'action sur la réflexion, c'est qu'il veut avant tout *susciter le désir d'apprendre*, comme le mentionne Meirieu en sous-titre de la biographie qu'il lui consacre (2001), mais s'interrogeant sur la méthode pour faire acquérir « *le véritable esprit scientifique* », il fait état d'essais « *plus ou moins heureux* » depuis plus de douze ans (1962), décrivant ce qu'en tout cas il veut surpasser : « *La recherche scientifique n'est que tâtonnements, bonds en avant, reculs. Mais rien de cette marche hésitante ne transperce à l'école traditionnelle. Le maître, suivant son plan de travail personnel, attire l'attention sur tel point, sur tel détail et l'enfant absorbe la pâtée, la digère... ou la rejette. Certains ne la goûtent même pas.* » Lui et les chercheurs qui l'entourent sont conscients « *d'être dans la bonne voie, qui permet à l'enfant de se concentrer, de faire appel à toutes ses facultés de recherche, d'expérimentation et le pousse à trouver le pourquoi, à triompher lui-même de ses propres problèmes*. », mais qu'il leur reste notamment à préciser l'importance de la part du maître. Or dans les exemples détaillés de "tranches de vie" de classe qu'ils développent (Comment se forme le vent ? Pourquoi les avions volent-ils ? Etc.), la grande part d'initiative dont disposent les élèves apparaît nettement, imagination et invention étant reconnues comme des données majeures de l'esprit scientifique.

1.1.2. Deux esprits scientifiques

Cet esprit est notamment caractérisé dans les écrits de Bernard (1865), Poincaré (1905), Dewey (1909), Bachelard (1934, 1938), Popper (1934). Astolfi, Peterfalvi et Vérin (1998) résument : *« À l'idée d'enseignement des sciences se trouve immédiatement associée celle de formation de l'esprit scientifique, avec ce que cela suppose comme initiation à la déduction, au raisonnement logique, mais aussi à l'inventivité des hypothèses et à la formulation de problèmes. »*
Il est considéré comme double par Poincaré (1905) qui identifie "deux sortes d'esprits" : la logique, *instrument de la démonstration*, et l'intuition, *instrument de l'invention*. Bachelard (1935) et Popper (1934) le rejoignent sur cette distinction. Ce dernier décrit un stade initial conceptuel, psychologique, créatif, où a lieu le jaillissement d'une inspiration, puis le jugement critique par lequel le savant la modifie ou la rejette. Il dissocie dans l'esprit scientifique les parts *psychologique* et *logique* de la connaissance. Chaque découverte contient un "élément irrationnel" ou une "intuition créatrice" pour laquelle il n'y a pas de voie logique (Nicolle 1932, Einstein 1934), qui mène à ce que Bachelard nomme "la philosophie du *pourquoi pas*" (1934). Avec Reichenbach (1930), Popper distingue *« procédure de découverte »* et *« procédure de justification »* d'une hypothèse.
Pour Medawar (1967) les deux épisodes successifs et complémentaires de la pensée sont les composantes *créative* et *critique* de l'esprit scientifique, correspondant à *conjecture* et *réfutation* chez Popper, que Monod (1973) comparera au jeu entre *mutation* et *sélection* dans l'évolution du monde vivant.
Cette dichotomie rejoint, dans le domaine de l'éducation, les *deux esprits scientifiques* dont parle Gabriel Gohau (1976). L'intérêt de cette distinction est de révéler combien le premier esprit est peu cultivé dans l'enseignement des sciences, et notre objectif sera, justement, de le valoriser. Bomchil et Darley (1998) notaient que la critique de l'inductivisme pouvait conduire à un excès de déduction dans les démarches, le remède étant déjà chez *« tous les enseignants qui laissent leurs élèves libres d'énoncer leurs hypothèses ».*
Giordan (1978), Host (1980), Astolfi et al. (1998) identifient également ces deux phases. René Thom (1986) résume : la science *« prolonge le réel par l'imaginaire et éprouve ensuite ce halo d'imaginaire ».*
L'esprit critique apparaît fréquemment lié à l'esprit scientifique. Bernard (1865) prônait la *liberté de l'esprit* comme second précepte fondamental. Lévy (1970) voit dans l'esprit scientifique le moyen pour les hommes de réexaminer sans cesse les fondements de leurs croyances. Il permet, pour Astolfi et al. (1998) de *« se donner les moyens de prendre de la distance par rapport aux idées toutes faites, aux croyances et aux intuitions spontanées ».* Tozzi (2000) définit l'esprit critique comme celui du libre examen, se gardant des préjugés et des pressions, dans différents domaines. Pour Chevreul (1845), *« le principe du* libre examen*, appliqué aux recherches du domaine de la philosophie naturelle, devient la* méthode expérimentale *».*
L'esprit scientifique, qui inclut le regard critique des idées dans le champ des sciences, s'étend aisément aux autres champs, et l'on forme ainsi, avec lui, l'esprit critique.

L'appel à contribution du colloque international *Construire l'esprit scientifique* (La Haye 2005, organisé sous le patronage de l'UNESCO) mentionne que cet esprit est en rapport avec le fait de ne pas considérer les choses comme admises, de questionner toute "vérité" donnée (Syring, 2005). À l'occasion du récent lancement du Prix *puRkwa* (*pourquoi* en phonétique), prix international pour le développement de l'esprit scientifique chez les enfants, Charpak (2004) rappelle que le doute et le questionnement constituent la base de l'esprit scientifique, et Cohen-Tannoudji (2004) souligne la fécondité de la démarche scientifique pour développer chez les enfants le goût du raisonnement et de la discussion critique.

Par ailleurs, de nombreux auteurs, à la suite de Bernard (1865) et Dewey (1897), insistent sur la nécessaire liberté d'initiative pour que joue l'esprit scientifique. Piaget en parle comme *« la condition sine qua non de cette formation »* : il faut que l'écolier ait *« une part d'initiative suffisante et n'agisse pas simplement sur commande. »* (1944). Il faut faire

une part de plus en plus grande *« à la spontanéité des recherches dans la manipulation de dispositifs destinés à prouver ou à infirmer les hypothèses qu'ils auront pu faire d'eux-mêmes pour l'explication de tel ou tel phénomène élémentaire. » « Une expérience qu'on ne fait pas soi-même avec toute liberté d'initiative n'est, par définition, plus une expérience, mais un simple dressage sans valeur formatrice. »* (1972). Ces phrases fortes indiquent bien la ligne directrice à suivre.

Former l'esprit, ou, mieux, *les* esprits scientifiques de l'élève c'est donc le placer dans des situations d'enseignement lui permettant de vivre des *démarches scientifiques* laissant toute sa place à son *initiative*.

1.2. Les constats

À trente ans de distance

Le naufrage de l'éducation scientifique : c'est avec ce titre peu complaisant que s'ouvre en 1978 le premier chapitre d'un ouvrage de sept enseignants et chercheurs qui s'accordent sur l'échec de l'enseignement des sciences (*Quelle éducation scientifique pour quelle société ?*). Astolfi, Giordan coordination, Gohau, Host, Martinand, Rumelhard et Zadounaïsky s'interrogent : *« L'enseignement scientifique est-il formateur ? » « Mais comment se fait-il que l'esprit scientifique soit si vagissant et si peu répandu dans notre société ? »* Interrogations qui ont eu malheureusement moins de retentissement que le sigle, forgé par André Giordan dans sa thèse (1976), qui accompagne le titre : *OHERIC ne répond plus ?*, dénonçant une démarche ritualisée où tout, "extrait" de l'Observation, se déroule linéairement (Hypothèse, Expérience, Résultats, Interprétation) jusqu'à la Conclusion. Pour eux, cette faillite révèle l'oubli de propriétés qui font les valeurs de la science comme l'état d'esprit créatif et la contestation méthodique. Comment prétendre former à la pensée scientifique, s'interrogent-ils, lorsque l'élève est un simple exécutant ou un simple spectateur ? Ils dénoncent *« l'inefficacité de l'enseignement prématuré de connaissances factuelles »*, et mettent en avant une nouvelle image de la science qui met l'accent sur l'attitude scientifique et l'importance de la création dans la démarche scientifique. Ils situent leur analyse dans le contexte d'une *« transformation profonde de la didactique »* liée à l'évolution des idées relatives à la nature de la science, grâce aux apports d'épistémologues tels que Bachelard et Popper.
Si nous citons cet ouvrage en y insistant, c'est qu'il constitue une référence non seulement par la convergence des points de vue de ses signataires de renom, mais aussi par le fait que plusieurs d'entre eux ont récemment dressé un bilan fort comparable de la déficience actuelle en matière de formation de l'esprit scientifique. Différents travaux montrent par ailleurs que ces extraits ont conservé toute leur actualité.
Ainsi, pour Demounem & Astolfi (1996) *« OHERIC répond toujours ! »* Astolfi, Peterfalvi et Vérin (1998) estiment que *« l'accumulation des connaissances prend le pas sur la formation de l'esprit »*. Giordan reprend en 1999 un livre qu'il a publié en 1978, et note dès l'avant-propos : *« Vingt ans plus tard, le constat est le même : l'enseignement des sciences reste inadapté. » « L'enseignement scientifique actuel est insatisfaisant ; les nombreux projets de rénovation, tant internationaux que français, en témoignent. Il faut bien constater que l'esprit scientifique est un vœu pieu dans notre société »* : qui pourrait dire s'il s'agit d'un texte de 1978, 1999 ou de cette année ? Il date de 1978, et les conclusions sont que l'enfant ne développe pas une démarche scientifique personnelle et qu'un tel enseignement donne une fausse idée de la démarche expérimentale. Et en 1999 : *« qu'est-ce qui a changé ? Rien ! Les mêmes dysfonctionnements s'observent presque mot pour mot. »* Il n'en va parfois pas mieux dans les formations d'enseignants que dans les classes : Giordan y relève une présentation erronée de la démarche expérimentale à l'aide du sigle « OHERIC ». Il signale que celle-ci est d'autant plus pernicieuse pour l'enseignement qu'il s'agit d'une reconstruction *a posteriori*, une fois l'hypothèse ou le modèle corroborré.
"L'épistémologie spontanée" des professeurs, empiriste, est relevée par Demounem et Astolfi (1996) comme par Rumelhard (1997, 2000). De son côté, Gohau (2002) cite un texte officiel de 1968 visant l'acquisition d'un *« véritable esprit scientifique »* pour noter qu'il fut *« le point de départ de ce que les adeptes d'une pédagogie moins corsetée moqueront sous le nom d'OHERIC (…) avant que l'accent ne fut mis sur le problème. »* Il relève à la lecture des programmes de 1996 et 1999 : *« Toujours OHERIC, si ce n'est l'ajout d'un problème au départ »*, terme *« devenu le fétiche de la méthodologie des sciences naturelles, le sésame qui fait s'ouvrir les portes de l'enseignement »* dans un concours de recrutement. Pierre Clément (1998) confirme que *« le modèle OHERIC a fait et fait encore référence »*, tandis que *« la contestation de ce modèle est devenue un classique de la didactique des sciences ».*
Astolfi & al. (1984), placent en première ligne des objectifs de tout enseignement scientifique *« former l'esprit scientifique des élèves, développer leur sens critique »*, pour aussitôt constater que ces objectifs sont loin d'être atteints par la majorité des élèves, notamment parce qu'on leur impose des activités dont ils ne saisissent pas le sens, et qu'on ne prend guère en compte les aspects divergents de la pensée.

Des analyses similaires proviennent du Québec comme des pays anglo-saxons. Désautels (1980) indique qu'au Québec, *« les résultats de la recherche montrent que les élèves n'ont pas acquis l'esprit scientifique »*, qu'il n'y a aucune place pour la recherche véritable. *« Nos élèves ont non seulement la tête bien vide, mais aussi mal faite. »* Pour Matthews (1994), il est largement reconnu qu'il y a une crise dans l'éducation scientifique occidentale. Les cours de sciences sont trop souvent, remarque un élève, *« des marches forcées à travers un pays inconnu sans disposer de temps pour regarder de côté »*. Aux Etats-Unis, des plans de réformes ont mis l'accent sur l'enseignement des sciences à partir des années 1950 (DeBoer, 1991). Une étude majeure conclut cependant qu'en matière de démarches, cela correspondait souvent à un cas de *« vin jeune dans de vieilles bouteilles »* (Stake & Easely, 1978), et Matthews s'interroge sur la part, dans cet échec, imputable à la vision inadéquate de la méthode scientifique. De

même malgré le projet *Nuffield* britannique des années 1960 insistant sur l'investigation mais imprégné d'une philosophie des sciences inductiviste (Stevens, 1978 ; Gohau, 2002), le sociologue de l'éducation M.F.D. Young (1976) observe qu'à l'issue d'une décennie d'investissements, la science à l'école demeure en crise.

Séquences de classes et dogmatismes

Michel Develay (1989) dresse la liste de *« pathologies de la méthode expérimentale dans l'enseignement »*. Il observe que la formulation du problème est souvent à l'initiative de l'enseignant, promoteur d'une situation problème devant s'achever avec la sonnerie horaire, sans appropriation par l'élève du problème énoncé, sans, peut-on résumer, que s'opère la *dévolution* définie par Brousseau (1986, 1998). Les manipulations prennent souvent une place prépondérante, certaines séances s'apparentant à des travaux manuels. *« Où alors peut se situer la fécondité au plan des apprentissages de la méthode expérimentale ? »* Il qualifie ces pratiques de *cryptodogmatisme*, reprenant le terme de P. Hérail (1959), terme désignant, pour Astolfi et al. (1998), *« une démarche entièrement guidée en sous-main ».*
L'analyse de séquences de biologie en Troisième et en Seconde (Orlandi 1991, Monchamp 1993, Bomchil & Darley, 1998) montre que, comme dans les cas relatés par Giordan, les expériences en classe ont davantage un statut d'*illustration* que de test. La plupart du temps, ou bien elles ne correspondent à aucune hypothèse, ou bien seule la "bonne" est considérée, parfois capturée au vol par le professeur qui ignore les autres, dans une *« pédagogie de la devinette »* (Giordan & de Vecchi, 1987 ; de Vecchi & Carmona-Magnaldi, 1996), au cours d'un faux dialogue tel que ceux décrits par Leroy (1970) ou Astolfi & al. (1978). Dans les séquences enregistrées par Monchamp, l'expérience a valeur d'argument d'autorité, la conclusion étant souvent annoncée comme telle dès l'introduction justifiant la recherche *: « la formation de l'esprit scientifique paraît loin… »* Gohau (1981) précisait aux *Erice lectures* de 1977 : *« l'expérience est "parachutée". Comme Athéna, elle surgit toute armée du cerveau du maître. On traite de dogmatique la méthode traditionnelle expositive, mais est-on moins dogmatique quand on expose une expérience que lorsqu'on expose une théorie ? »*
L'importance donnée aux aspects "concrets" ou manipulatoires *« entraîne des confusions entre investigation et expérimentation »* (Coquidé, 1998), et il en va de même avec l'observation, qui apparaît souvent comme une fin en soi (Guichard, 1998). La perte de sens des activités imposées ressort de l'enquête menée par Boyer et Tiberghien (1989). Joshua (1989) note qu'en Physique le rapport à l'expérimental dans le secondaire est profondément marqué par l'inductivisme, même si d'autres options pourraient être envisagées, *« comme celles qui sont centrées sur une démarche hypothético-déductive »* qui *« demeurent encore fortement marginales »*. Stengers et Schlanger (1989) résument, en un raccourci saisissant : *« L'élève ou le public sont ainsi priés de reconnaître que, à la place de Galilée, Newton, Maxwell ou Einstein, ils auraient évidemment tiré les mêmes conclusions, produit la même théorie. »* Joshua et Dupin (1993) rejoignent cette vision : *« Cette façon inductiviste de poser le problème de la relation à l'expérimental constitue encore le credo largement prédominant de nos jours (…). Les didacticiens de la biologie la critiquent sous le terme tout à fait évocateur de méthode OHERIC ».*

Ainsi, l'observation ou l'expérience joue bien souvent un rôle qui ne permet pas le développement d'une véritable attitude scientifique. Simple illustration, elle renforce la parole déjà dite. À l'inverse, donnée première, elle est sensée parler d'elle-même, selon une évidence et une logique qui ne sont pas celles des élèves. Ils voient et interprètent à travers le prisme de leur propre système de pensée, de ces notions communes, fausses, "fixées profondément" et faisant obstacle, que Bacon (1620) qualifie d'*idoles*, Piaget (1926) de *représentations*, Bachelard (1938) de *convictions premières indurées*, et que reprend l'appellation plus actuelle de *conceptions pré-scientifiques* (Gohau, 1981 ; Giordan & de Vecchi, 1987, 1989).

Et l'enseignement « par problèmes » ?

Des travaux sur la résolution de problèmes en Physique menés en parallèle en Espagne et en France sont résumés par Dumas-Carré et al. (1989), et montrent une convergence sur un échec dont la plus grande responsabilité *« doit être recherchée du côté de la didactique habituelle. »* L'intérêt de la présence de problèmes devrait être de récuser l'empirisme et de permettre la formulation d'hypothèses (Rumelhard, 1997), et sur ce point Fabre (1999) rappelle les cinq étapes de la démarche de recherche de Dewey. Mais l'insertion dans les séquences de classe de problèmes ou de situations-problèmes (Meirieu, 1987) ne garantit en rien la réorientation vers une épistémologie hypothético-déductiviste (Brunet, 1996, 1998 ; Orange, 1997 ; Coquidé, 1998 ; De Vecchi & Carmona-Magnaldi, 2002 ; De Vecchi, 2004). La démarche reste très linéaire, minimisant le rôle de l'hypothèse au profit de l'expérience-démonstration (Bomchil & Darley, 1998). Brunet (1998) signale que le modèle OHERIC peut être déguisé sous la forme O**P**HERIC, sans modifier son cadre empirique, tandis que Coquidé (1998) propose **P**HERIC pour caractériser les démarches observées -sans que cette mutation ponctuelle en altère le caractère très linéaire. Clément (1998), de son côté, voulait le remplacer par THEORIC pour montrer le caractère premier de la théorie et de l'hypothèse.

Éviction des hypothèses

Develay (1989) estime que *« lorsque la méthode expérimentale ne conduit pas les élèves à émettre des hypothèses, lorsqu'on ne peut plus que parler de "manip", l'apprenant est réduit à un rôle d'exécutant de tâches manuelles et à l'analyse des résultats. »* Bomchil et Darley (1998), montrent comment le professeur peut, tout en semblant mener une démarche expérimentale, évincer toute hypothèse provenant des élèves. Une série de questions mène à une

conclusion nommée *hypothèse*, qui ne présente guère d'incertitude et n'est que l'objectif notionnel, qu'ils se contentent de vérifier. *« Ainsi est bloquée toute expression de la pensée divergente de l'élève et la possibilité qu'il aurait de s'engager dans une analyse personnelle du problème à partir de ses représentations. »* Rumelhard (2000) fait le même constat. En Physique, Robardet et Guillaud (1997), dans un ouvrage synthétique, confirment cette tendance en décrivant, dans la méthode "dite expérimentale", l'évitement des attitudes *« favorisant le doute, les hésitations, les critiques, les reprises, les vérifications ».*

Priment alors l'énoncé du problème et l'exécution de l'activité qui va permettre de le résoudre. Pour Orange (2002), il est nécessaire que les *élèves « aient la possibilité de développer des idées explicatives qui ne se réduisent pas à la production d'une ou deux hypothèses rapidement collectées par le professeur, mais qui donnent lieu à de véritables débats scientifiques dans la classe. »* Chevreul (1850) protestait déjà : *« Il faut l'avouer, pour peu qu'on fasse des expériences sur quoi que ce soit, on est censé, auprès de beaucoup de gens, pratiquer la* Méthode expérimentale*, mais c'est une erreur grave à notre sens. »*

André Giordan (2002) rappelle le sens latin d'*experiri*, éprouver : *« l'imagination débordante du chercheur doit être soumise au test de la réalité »*, et *« cette simple approche change tout ».*

1.3. Les causes d'un échec

Astolfi & al. (1978) relevaient les facteurs du naufrage : d'une part le "sacro-saint programme", contraignant et pléthorique, dans un cadre institutionnel présentant une rigidité et des contradictions telles qu'elles leur font se demander *« où sont les enseignants héroïques »* capables d'y faire face, d'autre part une pédagogie reposant sur la tradition de l'empirisme et des erreurs résultant d'une méconnaissance des données de l'épistémologie et de l'histoire des sciences. Ainsi, l'enseignant désireux de transposer une démarche scientifique dans sa classe se trouve non seulement confronté à un certain nombre de contraintes mais est également en prise avec ses propres conceptions (Develay, 1989 ; Chevallard & Joshua, 1991 ; Lakin et Wellington, 1994 ; Bomchil & Darley, 1998).

Contraintes, difficultés…

Ces auteurs dénoncent la responsabilité des structures institutionnelles. La contrainte de programmabilité (Chevallard & Joshua, 1991) joue à la fois sur les contenus à enseigner et sur le temps imparti pour ce faire. Les remarques sur l'encyclopédisme des programmes sont fréquentes et anciennes, mais celui-ci subsiste cependant. André Giordan (1998) le dénonce en ces termes : *« La racine du mal crève les yeux : des programmes boursouflés, confectionnés non sur un projet éducatif, mais sur la base de corporatismes étroits. »* La manière dont sont rédigés les programmes incite peu le professeur à mettre en place des démarches expérimentales plutôt que des expériences d'illustration. Bomchil et Darley (1998) relèvent que *« c'est à partir des réponses plusieurs fois reformulées qu'il doit imaginer un problème ».* Pour Orange (1997) la place donnée aux problèmes dans les instructions pédagogiques, à distance respectable des listes de "faits scientifiques" sur lesquelles se concentre l'attention du professeur, montre que *« l'enseignement à partir de problèmes scientifiques est vu avant tout comme un moyen de motiver les élèves »*, ce qui reste réducteur.

...Et épistémologie "spontanée"

Nous avons vu comme étaient fréquentes les démarches linéaires, partant d'une observation ou d'une expérience et n'incluant pas d'hypothèse, ou seulement la "bonne". On se situe alors dans une approche empiriste et inductiviste qui transmet une image déformée de la science, signalée par de nombreux travaux (notamment Pope & Gilbert, 1983 ; Gordon, 1984 ; Lantz & Kass, 1987 ; Tobin & Gallagher, 1987 ; Hodson, 1988 ; Duschl & Wright, 1989 ; Brickhouse, 1989, 1990 ; Robardet, 1990, 1994 ; Gil, 1991 ; Grobois, Ricco & Sirota, 1992 ; Lederman, 1992 ; Darley, 1993 ; Désautels, Larochelle, Gagné & Ruel, 1993 ; Joshua & Dupin, 1993 ; Abell & Smith, 1994 ; Porlan, 1995 ; Roletto, 1998 ; Porlan Ariza & al., 1998 ; Clément, 1998).

Robardet et Guillaud (1997), dans un ouvrage synthétique, caractérisent *« l'épistémologie implicite de l'enseignement secondaire actuel »* en Physique : *« le recours aux approches inductivistes est très fréquent (…). De nombreuses études effectuées tant en France qu'à l'étranger confirment ce diagnostic. »*

Des études révèlent cependant chez certains enseignants des tendances hybrides, de type "*empirico-constructiviste"* (Koulaidis & Ogborn, 1989 ; Robardet & Vérin, 1998) résultant d'un "*patchwork* d'épistémologies" (Roletto, 1998). Ces résultats peuvent être rapprochés de ceux de Guilbert et Meloche (1993), Lederman & Druger (1985), Lederman & Zeidler (1987), Gess-Newsome and Lederman, (1995), qui montrent que les conceptions des enseignants ne se retrouvent pas toujours dans leurs pratiques de classes –ce qui compte finalement étant bien entendu ce qu'ils font vivre, ou non, aux élèves en classe.

Les références fréquentes à l'observation et à l'appui sur le concret dans les Instructions Officielles renforcent cette conception empiriste, d'autant que l'enseignant peut vouloir *« montrer pour être crédible, (…) montrer aussi pour se démarquer de l'abstraction des mathématiques. »* (Bomchil & Darley, 1998). Et les très nombreux appels officiels à l'appui sur "les faits d'abord" et à une démarche inductive pendant une bonne partie du XX^{e} siècle (Hulin, 2000, 2002 ; Kahn, 1999, 2002) ont pu durablement s'ancrer dans les esprits des enseignants qui les reçurent à répétition, et dont les pratiques et les discours ne peuvent que conforter les jeunes professeurs rejoignant leurs rangs dans ce que Porlan Ariza et al. (1998) nomment des "tendances-obstacles". *« C'est la science expérimentale des instructions ministérielles,* observait Bachelard (1932) *: pesez, mesurez, comptez ; (…) attachez les jeunes esprits au concret, au*

fait. Voir pour comprendre, tel est l'idéal de cette étrange pédagogie. Tant pis si la pensée va ensuite du phénomène mal vu à l'expérience mal faite. »

Le professeur est aussi souvent réticent à admettre, et plus encore à utiliser l'erreur de l'élève. Bachelard (1938) disait que les professeurs de sciences *« ne comprennent pas que l'on ne comprenne pas. »* Astolfi (1997) analyse le statut de l'erreur à l'école et l'inconfort qui y est lié. Il parle d'une "aversion spontanée pour l'erreur" et du vertige ressenti à l'idée de "plonger" dans ce qui se passe dans la tête des élèves. *« Rentrer dans le maquis des explications des élèves, mettre à jour toute cette gangue résistante, cela fait peur à l'idée qu'on risque de s'y noyer (…). Eux nous tirent vers les marécages quand nous aspirons à l'air des cimes ».* Mais ces marécages correspondent aux espaces où les élèves ont leur propre logique, leur propre vision des choses, à cette "partie immergée de l'iceberg" des conceptions, pour reprendre une autre métaphore proposée par Giordan et de Vecchi (1987) et développée par Pellaud, Eastes et Giordan (2005). Il faudrait alors accepter une modification du statut de l'erreur (Fabre, 1995), une prise de risque (Vérin, 1998), une rupture de la coutume didactique (Balacheff, 1988). *« Erreur, tu n'es pas un mal »* écrivait Bachelard (1938) ; et Piaget (1935) : *« une erreur témoignant d'une recherche véritable est souvent plus utile qu'une vérité simplement répétée, parce que la méthode acquise pendant la recherche (…) constitue un vrai progrès intellectuel ».*

La peur des cheminements aventureux est un frein important. Astolfi (2002) remarque : *« Les professeurs de sciences, intarissables sur les vertus de l'esprit scientifique, craignent plus que tout de laisser les élèves s'engager dans des voies qu'ils n'ont pas prévues, et face auxquelles ils redoutent de vite se trouver en situation d'insécurité professionnelle. ».* Pour Anne Vérin (1998), encourager l'expression de la pensée des élèves *« peut engendrer un désarroi dans la mesure où cela fait apparaître clairement le décalage entre les différentes idées qui sont réellement disponibles pour les élèves, dans leur diversité (…), et l'écart entre les représentations des élèves et le savoir à construire. »* Éviter de se retrouver confronté aux conceptions et aux hypothèses des élèves peut donc se faire soit en recourant à une sorte d'*hypothèse de Polichinelle*, soit par le passage direct du problème à l'activité, expérimentale ou non.

Plutôt que placer les élèves dans des situations problèmes qui font peur, il est alors plus rassurant –et moins éprouvant– de prévoir pour eux des *situations probantes* dans lesquelles ils doivent analyser des documents, ou réaliser des protocoles expérimentaux, apportant des "preuves" plus ou moins directes. L'élève doit alors approuver les idées qu'il reçoit, plutôt qu'éprouver les siennes.
En définitive, dans les classes de sciences, l'hypothèse inquiète, l'expérience rassure. Pour reprendre les images maritimes rencontrées dans ce tour d'horizon, on pourrait dire qu'aujourd'hui le paquebot des connaissances, moteurs ronronnants et sillage rectiligne, croise à des milles nautiques de l'iceberg des conceptions, les élèves multipliant les activités dans la salle des machines, bien loin de la cabine du pilote.

2. PROBLEMATIQUE

2.1. Une situation bloquée ?

Les constats précédents montrent une situation passablement bloquée. Les contraintes institutionnelles, dont, notamment, la volonté de "transmettre" une quantité impressionnante de connaissances aux élèves, n'est pas ébranlée par la minceur de ce qui en subsiste après quelques semaines (Giordan et de Vecchi, 1987, Giordan, 1998). Même si des plans de rénovation sont mis en place, qui demandent aux enseignants d'engager leurs élèves dans des démarches d'investigation, c'est en restant dans le même cadrage horaire, ou à peu près, et sans programme d'envergure pour leur propre formation. D'ailleurs, les consignes qui, en France ou en Grande-Bretagne par exemple, visent à promouvoir les démarches hypothético-déductives, datent de plusieurs dizaines d'années déjà. Or les enseignants ne vont pas faire des coupes dans les programmes pour dégager le supplément de temps qu'ils jugent souvent nécessaire –à tort ou à raison– pour laisser davantage d'initiative aux élèves.
Les séquences de classes telles qu'elles se déroulent aujourd'hui, on l'a vu, se révèlent peu efficaces pour la formation de l'esprit scientifique des élèves. Le succès d'OHERIC tient à la facilité offerte par un sigle, à la simplicité avec laquelle beaucoup de parties des programmes peuvent y être adaptées, au fait qu'il réponde à la fois aux préoccupations de recherche de "concret" réitérées par les instructions. En France, Brunet (1998) signale que *« l'enseignement par problèmes scientifiques guidant les activités expérimentales des élèves est devenu la seule méthode pédagogique prônée par l'Inspection Générale. »* Depuis, les textes officiels (des programmes de Sciences de la vie et de la Terre (SVT) du collège (1996) aux documents accompagnant ceux de Terminale scientifique (2002)) mettent fortement en avant problèmes, activités, "bases des apprentissages" qui disposent dans les programmes d'une colonne spécifique, et démarche "explicative" à partir du problème posé.
Dans le même temps où l'accent est mis sur ces orientations, les critiques formulées en didactique sur le modèle OHERIC peuvent parvenir aux enseignants, et ce d'autant plus aisément que le doyen de l'Inspection Générale, R. Demounem, qui signe en 1996 avec J.-P. Astolfi une *Didactique des sciences de la vie et de la Terre*, y reprend

l'expression *« OHERIC ne répond plus »* (Giordan 1978), que ne peuvent que transmettre les inspecteurs. On comprend alors que les enseignants, à qui on fait savoir que la démarche scientifique, ce n'est *pas* ça, et qui entendent l'insistance sur les problèmes et les activités, puissent glisser vers des séquences présentant la succession *observation – problème – activité – conclusion*. Schéma dans lequel les hypothèses sont exclues, ce qui, de notre avis, est pire encore pour la formation de l'esprit scientifique des élèves.
Nous proposons, pour caractériser par la suite de telles démarches, de les désigner par le sigle "OPAC".

Car en disant aux enseignants *ce que n'est pas* la démarche scientifique, on ne leur dit pas, dans le même temps, *ce qu'elle est*, on détruit un modèle certes « mauvais », mais en laissant, nous semble-t-il, la place vide. OHERIC ne répond plus, d'accord, mais qui répondra ?

Bomchil et Darley, en 1998, le font en partie, par les pistes qu'ils lancent : *« La transposition de la démarche scientifique consisterait alors à distinguer trois temps : le premier dans lequel toutes les hypothèses rationnellement envisageables par la classe seraient prises en compte et analysées (…) ; le second qui consisterait à faire des choix selon des critères explicites ; le troisième serait une méthodologie contraignante et rigoureuse de test des hypothèses retenues (…). Autant d'étapes qui permettraient aux élèves de donner et de conserver son sens à l'ensemble de la procédure expérimentale. »* Ce qu'ils préconisent correspond aux grandes lignes de notre propre vision.
En effet, pour notre part nous avons caractérisé, indépendamment de ce que permet ou non l'institution et les programmes scolaires actuels, trois axes complémentaires pour la formation de l'esprit scientifique (Cariou, 2002) : (1) *Initiation* à la démarche scientifique par la reconstitution de ses étapes les plus formatrices, au cours de séquences d'investigation, (2) *Immersion* des élèves en tant qu'acteurs dans une recherche scientifique *réelle*, sur un sujet à leur portée, et (3) *Analyse* des cheminements suivis et des obstacles rencontrés dans l'histoire des sciences.
L'axe (1) est porteur du risque de donner aux élèves une image caricaturale de la science si l'écart n'est pas nettement établi entre ces activités de classe et toute la complexité de la recherche au laboratoire. Cet obstacle, minimisé en rapprochant davantage les pratiques de la classe de la démarche du chercheur, peut-être en partie surmonté en prévoyant, pour des sujets qui s'y prêtent, des approches selon l'axe (3), qui pourvoira à donner une image de la recherche scientifique conforme à la réalité. Cet axe permet une prise de recul par rapport aux pratiques et donne aux élèves un regard plus général sur la construction des sciences. Ils y rencontrent des idées anciennes qui peuvent se rapprocher de leurs propres conceptions, mesurent les obstacles qui ont dû être lentement surmontés avant d'accéder au savoir actuel. Ils y voient aussi le savant dans son cheminement souvent chaotique, aux prises avec la résistance du réel et parfois, comme eux, avec celle de ses idées préconçues…

Jean-Pierre Astolfi (2005) résume clairement le problème : *« Si l'on privilégie l'"esprit scientifique", on cherche à faire travailler les élèves comme de jeunes chercheurs, et il faut alors accepter ce qui est le lot de tout chercheur, à savoir le tâtonnement, le doute, les impasses, la multiplicité des hypothèses, le recommencement… et l'incertitude quant au résultat ! C'est très formateur pour la pensée, mais long et décevant en termes de construction de savoir. On risque de rebondir de question en question, au lieu d'aller droit au résultat escompté. »* Notre proposition se situe dans l'intermédiaire : ni des séquences fortement corsetées comme avec OHERIC, dans lesquelles le professeur conduit tout, de manière visible ou cryptodogmatique, ni un travail comme de jeunes chercheurs –ce serait notre axe (2), option que n'offre pas le système. Mais une initiation, non pas en permanence mais selon le choix dans les programmes de problèmes qui ouvrent les voies à l'initiative et aux propositions des élèves. Celles-ci, pour imaginatives qu'elles soient, doivent aussi être *logiques* par rapport au problème soulevé et cohérentes par rapport aux acquis : la *discussion de leur recevabilité* est une phase importante, qui conduit à ne pas suivre toute proposition spontanée, mais peut aussi bien conduire à suivre une proposition répondant à ces critères que l'enseignant sait fausse mais que la classe estime appropriée.
C'est pour ces raisons que nous avons choisi, en tenant compte des critiques formulées et des données de l'épistémologie et de l'histoire des sciences, de proposer un modèle simplifié et approximatif de la démarche scientifique hypothético-déductive, qui s'appuie à la fois sur l'épistémologie et sur l'analyse du travail des scientifiques au laboratoire, et puisse servir de fil conducteur souple pour le travail en classe. Sans prétendre toutefois qu'il parvienne à décrire la réalité complexe des cheminements des chercheurs, ce modèle, accompagné d'un "mode d'emploi" destiné aux enseignants, constitue "l'outil DiPHTeRIC" visant à favoriser la prise d'initiatives par les élèves, élément fondamental pour la formation de l'esprit scientifique.

2.2. Proposition d'un outil : DiPHTeRIC

Se caractérisant par une part d'initiative conséquente, cette approche est destinée à se substituer au modèle classique avec, le plus souvent, des activités omniprésentes et des élèves simples exécutants.
Cela soulève aussitôt les questions suivantes :

1. quels sont les cheminements identifiables dans la recherche scientifique ?
2. quelle modélisation simplifiée peut-on proposer dans le cadre scolaire, sous la forme d'un outil pour les enseignants ?
3. quel mode d'emploi doit-on y associer, pour que les propositions et les initiatives des élèves puissent être les moteurs de ces démarches ?

La réponse à la première question sera recherchée dans le domaine de l'épistémologie et de l'histoire des sciences, et nous serons conduits à son interface avec celui de la didactique pour la question 2. La question 3 nécessite de

prendre appui sur des réflexions et des approches didactiques, afin de mettre en place ce que nous nommerons une *didactique de l'initiative*, dans laquelle l'enseignant veille à laisser une part conséquente aux propositions des élèves et respecte, autant que possible, leur(s) itinéraire(s).

2.2.1. Origine de l'outil

Selon les auteurs, les lieux et les époques, nous n'aurons pas la même vision de « la » démarche scientifique. Cuvier ne jurait que par les faits, Kepler était un spéculateur fantasque et Feyerabend s'élève *contre* toute méthode. Cependant, nous pensons, avec Darley, (1996) que *« l'absence de consensus sur ce que doit être la démarche scientifique ne doit pas être prétexte à laisser le champ libre à un apprentissage empirique à l'épistémologie mal contrôlée. »* L'analyse des discours et celle des pratiques historiques conduisent à discerner certains éléments relativement permanents qui, transposés en classe, permettent le jeu des différentes facettes de l'esprit scientifique, telles que nous les avons dégagées.

Discours historiques sur la méthode

Bacon (1605, 1620) et Descartes (1637, 1644), par les schémas généraux qu'ils dessinent, auront une grande influence sur leurs successeurs. Le premier donne les préceptes de la "véritable méthode inductive", tandis que le second met en avant l'intuition et la déduction dans son *Discours de la Méthode* destiné à *conduire sa raison et chercher la vérité dans la science*.
Les œuvres de Kepler (1593, 1604, 1609), Gilbert (1600), Galilée (1632, 1638), Harvey (1628) et Newton (1687), et leurs analyses (Koyré, 1939, 1957, 1973 ; Geymonat, 1957 ; Koestler, 1960 ; Shea, 1972 ; Cohen, 1980 ; Thuillier, 1983 ; Maury, 1990 ; Bellone, 1999 ; Minois, 2000 ; Lombardi, 2001, Fredette, 2002 ; Guicciardini, 2003) permettent de dégager les traits marquants de leurs cheminements.
Retenons ici Kepler, qui ne cesse de détailler le parcours tortueux de sa pensée, demandant au lecteur de le suivre à travers épines et "broussailles", et Harvey (1628) qui, pour sa découverte de la circulation du sang émet des *hypothèses* explicites dont il déclare éprouver les conséquences par l'expérience.
Diderot (1753) est, pour Duris et Gohau (2002), *« le premier à poser les fondements d'une vraie démarche expérimentale ».*

Les rôles respectifs des hypothèses et des expériences sont ensuite analysés par Sénebier (1783), Lavoisier (1789), Kant (1787), Herschel (1830), Comte (1832), Whewell (1840) et Mill (1843). Parmi eux, et avant Claude Bernard, Sénebier, Herschel et Whewell jettent clairement les bases de la procédure qui sera par la suite nommée *hypothético-déductive*.
Chevreul dit vouloir insister, en 1850, sur la définition qu'il donne de la méthode expérimentale : *« Après l'observation des phénomènes au moyen de nos sens, vient donc le raisonnement,* [qui] *nous conduit à instituer des expériences afin de convertir la supposition en certitude, ou d'en apprécier le degré de probabilité, ou enfin de la rejeter comme une erreur, si elle n'est pas fondée. »* Claude Bernard (1865) développera les idées fondamentales de Chevreul, chimiste, les transposant en physiologie (Canguilhem, 1968 ; Gayon 1996) : *« La méthode expérimentale, en tant que méthode scientifique, repose toute entière sur la* vérification expérimentale d'une hypothèse scientifique *».* C'est pour lui l'hypothèse qui est la pièce maîtresse de la démarche, et même lorsqu'il parle de l'observation qui peut la précéder, il précise, et les exemples qu'il prend le montrent, qu'il ne s'agit pas d'une observation quelconque, d'un fait constaté de manière purement empirique -et ses phrases contre l'empirisme sont sévères- mais d'un fait qui entre en contradiction avec les idées admises, de ce que, plus tard, Bachelard nommera une *observation polémique* (1934). La question du primat de l'observation est bien traitée, entre autres par Kant, (1787), Comte (1832), Chalmers (1976, 1990). *« On ne voit que parce qu'on prévoit »*, résumait Bachelard (1929). Joshua et Dupin (1993) font remarquer que malgré leurs divergences, *« aucun des auteurs contemporains ne retient plus l'hypothèse d'une inférence simple, univoque, voire "naturelle" susceptible de conduire des données observationnelles à la théorie modélisée ».*
Peut-être encore plus parlantes que ces généralisations sont les narrations de leurs cheminements erratiques faites, dans la lignée de Kepler, par les scientifiques eux-mêmes comme, parmi les auteurs modernes, Watson (1968) ou Jacob (1987).
Mais aussi convaincantes que puissent paraître les descriptions des démarches suivies lors de recherches, elles comportent le risque, lorsqu'elles sont faites par leur auteur, d'être réarrangées pour leur présentation, consciemment ou non, faute d'un regard extérieur objectif sur la succession des étapes décrites. C'est ce qu'ont montré Canguilhem (1968) et Grmek (1973, 1991) chez Claude Bernard. Et si l'enseignant décide de s'en inspirer pour la démarche à suivre en classe, il risque d'être lui-même victime de ce biais. Plus instructive encore sur leurs démarches serait l'observation des chercheurs dans leurs laboratoires.

Par-dessus l'épaule des chercheurs

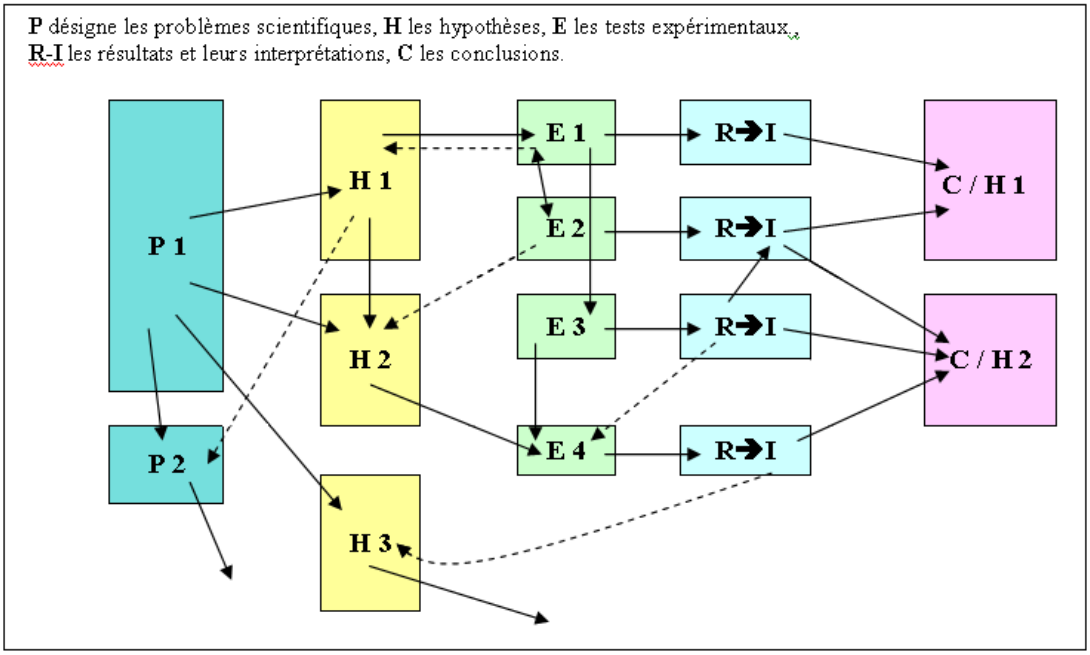
C'est ce qu'a fait de manière fouillée Mirko D. Grmek (1973, 1991), en comparant les notes de laboratoire de Claude Bernard avec les récits ultérieurs de ses travaux, montrant que la présentation finale prenait la forme d'une succession idéalisée et reconstruite. L'examen critique de Mirko Grmek nous a permis de savoir *comment ne procédait pas* Bernard : il est la plupart du temps bien loin de suivre, en effet, la succession simple OHERIC. Mais on a souvent omis de considérer qu'il nous permettait aussi de découvrir *quelle était* sa démarche ! Et c'est aussi cet aspect qui peut être profitable à l'enseignant scientifique. Car si les travaux de Grmek sont souvent cités, c'est pour leur versant critique, destructeur, celui qui permet de dire aux enseignants qu'ils se fourvoient –et qui les laisse

démunis. Mais poursuivre la lecture plus avant permet d'aborder son versant *constructeur*, qui établit quelle était la démarche bernardienne *réelle*, soumise au regard rigoureux de l'historien des sciences : *« Face à des faits nouveaux, Claude Bernard laissait libre cours à son imagination, inventait plusieurs hypothèses possibles et, en fonction des déductions faites à partir de ces hypothèses, procédait à l'expérimentation. Les expériences vérifiaient ou renversaient ses suppositions »* : la ligne directrice paraît claire, en dépit des enchevêtrements.

Or, d'une part cette ligne directrice, même approximative, peut suffire pour *l'initiation* au cheminement scientifique des élèves, la démarche historique pourvoyant à une représentation plus exacte du processus de la découverte, d'autre part les investigations des élèves peuvent présenter, à leur échelle, cet aspect buissonnant de la découverte, pour peu que l'on prenne en compte leurs diverses hypothèses, y compris celles qu'on sait fausses (mais logiques), et qu'on explore les voies latérales rencontrées chemin faisant…

Les travaux de Grmek, universellement salués, sont salutaires parce qu'ils permettent de se dégager d'une certaine naïveté épistémologique. Mais nous estimons qu'ils fournissent aussi la base pour une nouvelle fondation. Leur portée est d'autant plus forte qu'il cite des travaux similaires sur des documents de première main concernant la genèse de 70 inventions modernes, révélant la distorsion des faits historiques par les inventeurs eux-mêmes (par exemple Wolff, 1963). Le chercheur procède, dit-il, à un *« réarrangement rationnel du processus de la découverte »*, présentant ses travaux en en gommant les errances, qui ne sauraient intéresser les lecteurs pressés. Il est tellement tentant, pour le chercheur, de tracer la voie royale vers la découverte qu'il aurait dû suivre, plutôt que la succession de réorientations après des rencontres impromptues de réverbères, qui fut son lot. C'est l'élément irrationnel dont parlait Popper, les errances du premier esprit scientifique de Gohau, qu'on balaie pudiquement sous le tapis, itinéraire moins avouable sans doute, sauf pour un narrateur d'une désarmante honnêteté comme Kepler.

La figure suivante fournit une vision synthétique des cheminements désarticulés habituels de la recherche scientifique, que l'on retrouve présentés sous une forme voisine dans les schémas proposés par J. Lalanne (1985) à l'issue de l'analyse des voies de la découverte chez différents chercheurs : Needham, Spallanzani, Claude Bernard, Pasteur, Watson et Crick[1]... Elle permet d'illustrer le fait qu'une investigation peut partir dans plusieurs directions et que ses premières étapes peuvent être revisitées. Elle permet aussi de dégager ces pôles majeurs que sont le passage par le stade de l'hypothèse et, une fois celle-ci émise et retenue, le recours aux tests.



Autant dire que si l'objectif est de placer les élèves *dans le vécu de la science* qui se fait, ce ne peut se faire qu'en les laissant emprunter des routes tortueuses (axe 2). Mais *si l'objectif est épistémologique* : savoir comment la science se construit, on aura tout intérêt à leur faire étudier l'histoire des sciences… et à les nourrir des réflexions, telles que celles qui précèdent, sur les chemins de traverses de la connaissance (axe 3). *Si l'objectif est méthodologique*, il en va tout autrement : établir des liens cohérents entre un problème, une ou des hypothèses, en discerner des conséquences testables… participe, sans conteste, à la formation de l'esprit scientifique (axe 1). Mais il doit alors être

[1] D'autres ouvrages ont été consultés dans le cadre de l'élaboration de cette vision simplifiée, parmi lesquels, sur l'histoire des sciences, Singer, 1934 ; Rostand, 1945 ; Crombie, 1952 ; Guyénot, 1957 ; Loewi, 1960 ; Taylor, 1963 ; Wolff, 1963 ; Théodoridès, 1965 ; Monod, 1970 ; Losee, 1972 ; Gohau, 1978, 1987 ; Mayr, 1982 ; Rosmorduc, 1985 ; Jacob, 1987 ; Giordan, 1987 ; Ronan, 1988 ; Grmek, 1990 ; Shapin, 1996 ; sur l'histoire des méthodes, Bénézé, 1954; Leclerq, 1960 ; Baja, 1969 ; Nicolle, 1994 ; et sur l'épistémologie Duhem, 1906, 1908 ; Toulmin, 1961 ; Hempel, 1966 ; Bartholy, Despin et Grandpierre, 1978 ; Désautels et Nadeau, 1984 ; Oldroyd, 1986 ; Thom, 1986 ; Hamburger, 1986 ; Fourez, 1988 ; Serres, 1989 ; Jarrosson, 1992 ; Stengers, 1993 ; Huisman et Vergez, 1994 ; Laszlo, 1999 ; Andler et al., 2002 ; Wagner (dir.), 2002 ; Verhaeghe, Wolfs, Simon et Compère, 2004.

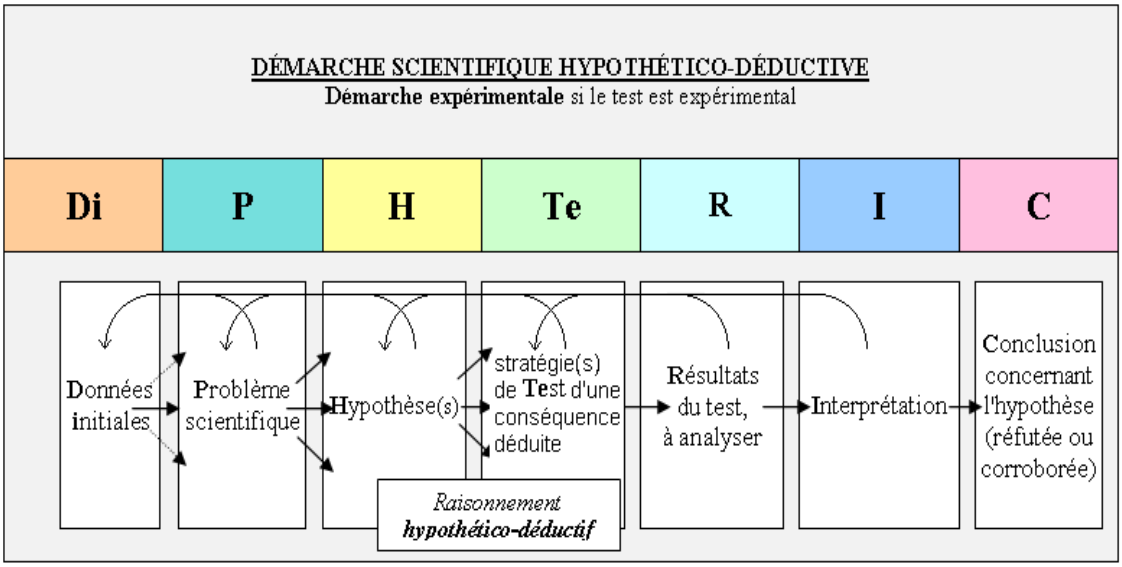
bien clair pour tout le monde que, d'une part, ce n'est pas parce que l'étape suivante *paraît logique* qu'elle est pour autant *prévisible*, et que, d'autre part, les élèves d'un lycée ne feront pas en deux heures ce qui prit deux ans à Louis Pasteur.

Convergence des approches épistémologique et didactique

Ces études permettent de déconstruire OHERIC et de reconstruire un autre modèle, plus conforme au cheminement scientifique réel. Nous proposons de désigner par le terme *données initiales* un ensemble, de composition variable d'une fois à l'autre, pouvant regrouper théories, observations, conceptions, croyances, acquis, modèles, expériences "pour voir"… Ces données permettent de poser un problème, correspondant, le plus souvent, à un déficit d'explication. C'est lorsque les élèves en proposent que peuvent s'exprimer leurs conceptions, auxquelles sont alors conférées le statut d'hypothèses. Le contrôle des hypothèses n'étant pas forcément expérimental, mais pouvant être effectué par des observations, comme le soulignait Bernard (1865), nous préférons substituer à *expérience* le terme plus général de *test*.
L'absence de linéarité peut être figurée, comme sur le schéma précédent, par des flèches qui indiquent la variété des cheminements possibles : divergences, convergences, voies sans issue, retours en arrière… Si une démarche est linéaire, c'est que ce n'est sûrement pas celle des élèves qui est suivie. C'est ce qui arrive quand on va "à la pêche" de la bonne hypothèse dans les suggestions des élèves, pour pouvoir passer à l'expérience. Ce que nous préconisons est au contraire la prise en compte de plusieurs d'entre elles, dès lors qu'elles sont logiques, comme le souhaitaient Dewey, Claparède ou Piaget (ce qui ne signifie pas qu'il faille toutes les tester expérimentalement), d'en discuter la recevabilité comme le propose Darley, et de laisser les élèves suggérer, puis mettre en œuvre les tests appropriés.

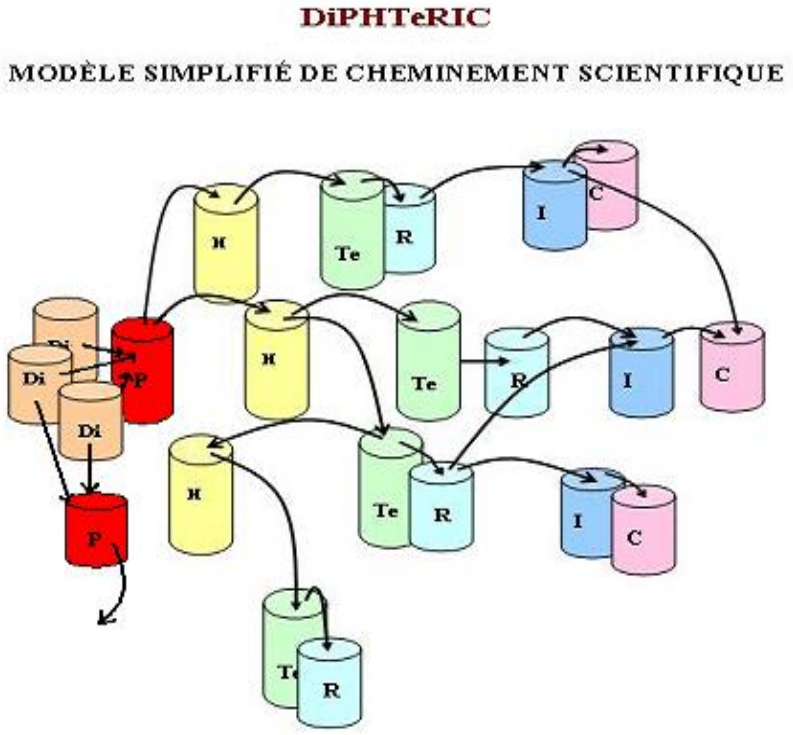
2.2.2. Proposition d'un modèle pédagogique

En tenant compte des remarques précédentes, nous proposons le modèle suivant de démarche scientifique (DiPHTeRIC ; Cariou, 2002). Il correspond globalement aux vues communes de Popper, Medawar, Jacob et Monod, même si, en tenant compte des facteurs sociaux, la vision poppérienne a été affinée par ses successeurs –ainsi, une théorie n'est-elle pas historiquement rejetée dès qu'elle est réfutée. Notre modèle n'est cependant pas affecté, pour son usage en classe, par l'introduction des idées de Kuhn (1962), Lakatos (1978) ou Feyerabend (1975), qu'il serait d'ailleurs intéressant, et complémentaire, que les élèves étudient en Philosophie.
Il ne prend par ailleurs en compte que la démarche hypothético-déductive, et non la diversité des approches possibles : découvertes par rencontre fortuite ou par voie inductive. Cependant, pour Joshua et Dupin (1993), *« le caractère principal de l'élaboration scientifique apparaît de nature hypothético-déductif. »*



Les comparaisons avec les descriptions faites par Develay (1989), Paccaud et Vuala (1999), Dupont (1992), Daniel Gil-Pérez (1993), Furio Mas et al. (1994) Giordan (1999) montrent une bonne correspondance globale de notre modèle avec les diagrammes qu'ils présentent.
Schéma imparfait de la démarche chaloupée du chercheur, il représente tout de même la voie qu'en général il aimerait suivre, et n'est ici qu'un modèle utile en didactique pour un entraînement à la démarche scientifique. Il est clair que la situation de classe est artificielle et très différente d'un contexte de recherche scientifique réelle, que les élèves pourraient vivre par l'*immersion* de l'axe 2 et connaître par les *analyses* de l'axe 3. Dans cet artifice, l'enseignant se borne à réunir les conditions d'une *initiation* (axe 1) pour développer chez les élèves une activité intellectuelle comparable à celle des chercheurs.
Ce modèle restant éloigné de la réalité par la fausse image de linéarité simple qu'il peut donner, même si des flèches montrent, à différents niveau, la possibilité de bifurcations et de retours en arrière.

Ce qui est rendu plus visible, ainsi que la non-linéarité de la démarche, dans la présentation suivante :



amont des hypothèses joue le “premier esprit scientifique”, l’interrogation sur le monde, la curiosité, l’esprit créatif, l’intuition, l’analogie, l’induction, *l’invention d’un monde possible* –mais avec une part de cohérence : des hypothèses fondées, correspondant au problème, non opposées aux acquis. L’aval est le territoire du “second esprit scientifique” : déduction logique de conséquences à partir de l’hypothèse (si… alors), analyse et interprétation rigoureuse des résultats –mais avec une part d’inventivité dans l’élaboration d’un test, qui peut aussi se retrouver dans l’interprétation. Les hypothèses constituent la clef de voûte de ce modèle. *« Sans hypothèse,* dit Claude Bernard (1947), *il n’y a pas de science, et le jour de la dernière hypothèse serait le dernier jour de la science »* C’est un saut dans l’inconnu, on l’a vu, pour Claparède, et le moment majeur, avec la conception de tests, où peut jouer l’initiative des élèves.

2.3. Hypothèse sur l’outil proposé

En considérant ces différents points, nous formulons l’hypothèse que l’emploi de l’outil DiPHTeRIC, dans le cadre d’une didactique de l’initiative, favoriserait la formation de l’esprit scientifique et critique des élèves. Nous postulons que cet outil peut servir de levier pour cheminer à partir de propositions exploratoires venant des élèves eux-mêmes, en leur ménageant une importante part d’initiative et d’activité *intellectuelle*, formatrices de leur esprit scientifique. Nous pensons en effet que son emploi par les enseignants les incite à laisser les élèves échafauder puis éprouver *leurs* hypothèses, et permet d’arriver à leur faire progressivement ressentir comme une évidence l’idée de tester les conséquences qu’*ils* en déduisent par les moyens de mise à l’épreuve qu’*ils* proposent -même si l’on choisit de leur substituer des moyens équivalents pour des raisons pratiques.

Pensé pour rappeler aux enseignants la logique *a priori* du cheminement de l’esprit, nous voyons dans cet outil un moyen efficace pour accompagner sans les contraindre les constructions des élèves. Il peut suggérer aux enseignants de penser leurs interventions éventuelles dans la démarche sous forme de questions *incitatives*, mais non *révélatrices,* telles qu’en présentent les exemples concrets de progressions qui leur sont fournis dans le cadre de cette recherche.

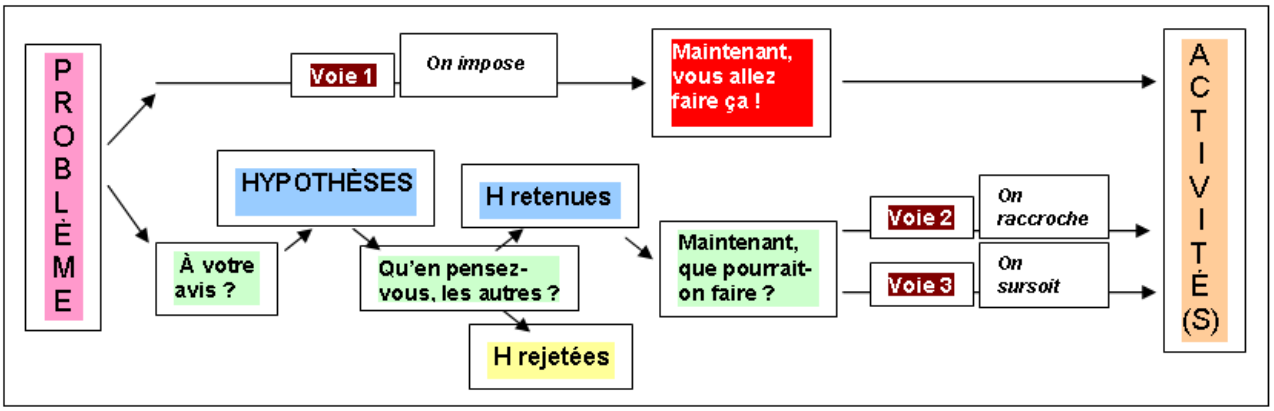
Nous y voyons également un moyen de resituer le fait que si l’on place les élèves face à un problème, c’est pour qu’ils soient à une certaine distance intellectuelle de la solution, et que c’est à eux de tenter de s’en rapprocher, en disant comment. Sans la leur faire simplement constater, ni les tirer le long du chemin : la progression se ferait au prix d’un effondrement de la tâche intellectuelle, rendant inopérant l’appui sur un problème initial, tandis que notre outil lui redonne la valeur heuristique qui justifie son existence.

3. METHODOLOGIE

Notre hypothèse sera testée dans des classes dont les professeurs ont accepté de mettre en œuvre un enseignement basé sur notre modèle. Les professeurs de Science de la vie et de la Terre collaborant à ce travail exercent dans des établissements des académies de Paris, Créteil et Versailles. Nous prévoyons notre analyse sur dix classes : cinq de collège (Troisième) et cinq de lycée (Seconde).

3.1. "Cahier des charges" des enseignants collaborateurs

Il leur est demandé, lors de l'année scolaire 2006-2007, d'utiliser, selon son mode d'emploi, l'outil DiPHTeRIC et pour cela de ne pas procéder selon la voie 1 classique, de type OPAC, du schéma ci-dessous qui détaille le passage du problème aux activités, mais de privilégier les voies 2 et 3. La différence étant que dans la **voie 2**, l'activité prévue par le professeur est mise en œuvre si elle correspond à une proposition d'élèves ou s'ils en reconnaissent l'équivalence, tandis que dans la **voie 3** une activité suggérée par les élèves ne sera mise en place qu'à la prochaine séance :



Des exemples de progressions selon les voies 2 et 3 leur sont envoyés dès la rentrée et tout au long de la période analysée, au fur et à mesure de leurs avancées dans les programmes.

3.2. Outils d'évaluation

Nous évaluerons l'impact de l'enseignement préconisé sur l'esprit scientifique et critique des élèves, à l'aide de deux outils d'évaluation permettant une analyse à la fois qualitative et quantitative. Ces données seront pondérées par les indications recueillies auprès des enseignants ayant mis en œuvre notre approche, indications qui nous permettront également d'estimer quelle évolution de leurs pratiques elle a pu favoriser. Un questionnaire rempli par les élèves complètera cet ensemble.

3.2.1. Pré- et post-tests encadrant l'enseignement préconisé

Six tests sont prévus : les objectifs (O) et les critères (C) retenus pour chacun sont présentés dans le tableau suivant. Deux tests se réfèrent à des exemple historiques : le n°**2**, au discours de Paul Bert en 1880 sur les mérites de l'enseignement scientifique : *« Nos paysans compromettent le succès de leurs semailles et de leurs récoltes sur telle apparence de la lune »* (Kahn, 2002), et le n°4, (voir annexe 1) à l'exemple des volcans artificiels dont traite Bachelard dans *La formation de l'esprit scientifique* : *« le pittoresque de l'image entraîne l'adhésion à une hypothèse non vérifiée »* (1938). Le n°**1** demande aux élèves des hypothèses et des tests possibles à propos d'un problème non étudié en classe (répartition des végétaux) et vise à recouper les données issues des recueils de propositions lors des séquences DiPHTeRIC. Le n°**3** (sur le stationnement payant) se situe en dehors de tout contexte scientifique, l'esprit scientifique devant s'exercer en tous lieux. Le n°**5** se réfère au *doute* dont Descartes comme Claude Bernard on fait une composante majeure de l'esprit scientifique : les élèves doivent faire état de leur assurance, ou non, par rapport à des affirmations, qui correspondent à des conceptions initiales classiques, telles que *« dans le ventre de sa mère, le bébé avale du lait »*, *« dans le cycle d'une femme, les règles correspondent à l'évacuation de l'ovule »*, *« certains caractères héréditaires se transmettent par le sang »*. Le n°**6** leur demande les étapes suivies, selon eux, dans la recherche scientifique.

Tests	Objectifs (O) et critères (C) retenus	
1	O1	Évaluer l'aisance des élèves à proposer des hypothèses recevables et à suggérer des tests appropriés. Sur un problème non étudié en classe (répartition des végétaux).
	C1	Pertinence des hypothèses émises par l'élève Nombre d'hypothèses pertinentes proposées Pertinence du/des test(s) envisagé(s) par l'élève
2	O2	Évaluer les choix faits par les élèves concernant l'acceptation, le rejet ou le contrôle d'une affirmation douteuse : « On obtient une bien meilleure récolte de blé quand il est semé en période de pleine lune ».
	C2	% d'élèves valorisant le contrôle expérimental % d'élèves rejetant une assertion pseudoscientifique comme irrationnelle % d'élèves justifiant leur choix par une argumentation acceptable
3	O3	Évaluer le recours au contrôle expérimental hors contexte scientifique (sur le stationnement payant)
	C3	% de demandes d'expertise, ou autre contrôle acceptable de l'affirmation % de demandes de justifications argumentées % d'acceptation sans conditions
4	O4	Évaluer la plus ou moins grande acceptation par les élèves d'un modèle en guise de "preuve" (modèle de volcans avec purée et ketchup).
	C4	% d'élèves déniant à un modèle le statut d'une preuve % d'élèves indiquant que le modèle présente une « cause possible » de dynamisme éruptif % d'élèves adoptant la conclusion présentée sans réserves
5	O5	Évaluer leur propension à *affirmer sans savoir*, leur circonspection et distanciation ou non vis-à-vis des conceptions spontanées, leur habituation ou non à la mise en doute.
	C5	% d'affirmations sans savoir dans la classe % du choix "je ne sais pas" % de "réponses "probable" et "peu probable" avec arguments pertinents
6	O6	Évaluer l'évolution des conceptions des élèves sur la démarche scientifique
	C6	% d'élèves ne plaçant que l'observation comme point de départ % d'élèves faisant intervenir les hypothèses % d'élèves faisant intervenir des éléments de non-linéarité dans la démarche

3.2.2. Recueil des propositions d'élèves

Pour chaque séquence, le professeur doit remplir une fiche (voir annexe 2) comprenant :
- le relevé des hypothèses émises par les élèves ;
- le relevé des tests envisagés par les élèves ;
- une estimation par le professeur de la qualité de la discussion par les élèves de la recevabilité des hypothèses (notée de 0 à 4) ;
- une estimation par le professeur de la spontanéité à passer d'une étape à l'autre dans la démarche (notée de 0 à 4).

L'analyse de ces données sera faite à l'aide d'une grille de lecture recensant six critères, cotés de 0 à 4 : aux estimations directement faites par les professeurs s'adjoignent la pertinence et le nombre des hypothèses recevables, la pertinence et le nombre des tests valides recensés sur ces fiches de recueil.
Les données issues de ces recueils de propositions, en contexte scolaire, permettront de recouper celles provenant du test n°1 à propos d'un problème non étudié en classe, sur trois critères majeurs : la pertinence des hypothèses, leur nombre et la pertinence des tests.

3.2.3. Questionnement des enseignants et des élèves

En complément, les professeurs collaborateurs seront invités à se prononcer sur leur perception, leur utilisation et leur évaluation de l'outil : l'apport qu'il représente, son impact sur l'élaboration de leurs séquences, son "plus" éventuel dû au fait qu'il soit basé sur une analyse des démarches dans l'histoire des sciences, prône l'initiative des élèves, soit accompagné de la fourniture d'exemples concrets de progressions. De leur côté, les élèves seront interrogés sur les différences qu'ils ont pu ressentir par rapport aux pratiques habituelles. Ces questionnaires fourniront des données permettant d'affiner et de compléter les précédentes.

PROLONGEMENTS

Un outil pensé pour la pratique enseignante

Proposer un modèle simplifié de démarche scientifique n'a de sens, dans notre esprit, que s'il met en relief les moments majeurs que sont la recherche d'hypothèses et celle des moyens de les éprouver, incitant les enseignants à laisser les élèves s'y engager avec leurs propres forces intellectuelles. Le modèle DiPHTeRIC est ainsi à considérer avec son mode d'emploi, dans lequel les élèves peuvent, doivent même, proposer leurs idées, les soupeser, considérer celles des autres, inventer des stratégies pour en avoir le cœur net, avec l'impression que pour démêler l'affaire, "la balle est dans leur camp". C'est une telle approche que nous proposons de nommer, dans l'esprit de Claparède qui souhaitait que les élèves *veuillent ce qu'ils font*, une "didactique de l'initiative".
Le modèle et son mode d'emploi forment alors un outil, qui s'utilise en étant lu "en creux" : Di_1_P_2_H_3_Te_4_R_5_I_6_C : les tirets numérotés indiquent ce qui ne se voit pas à la simple lecture du sigle, et rappellent que pour la formation de l'esprit scientifique, ce ne sont pas tant les étapes qui importent que l*a manière de passer* de l'une à l'autre.
Il s'agit donc pour l'enseignant, en pensant à la suite pour mieux éviter d'y propulser les élèves, de s'habituer à ne pas se laisser emporter par la tendance spontanée à fournir des solutions, directes ou à peine masquées. Quelles que soient les bifurcations possibles, les sauts créatifs seront présents dès lors qu'il y aura construction des hypothèses, puis, à partir des hypothèses, de tests possibles. Ces sauts, personne ne doit les faire à la place des élèves, d'où l'impérieuse nécessité, dans une approche didactique privilégiant l'initiative des élèves, de les laisser libres de les effectuer. Les questions incitatives seront alors, par exemple : _1_Tout vous paraît clair ?... _2_À votre avis ?... _3_Vous en pensez quoi ?, puis : comment savoir (si c'est bien ça, ou qui a raison) ?...

Le rôle du professeur dans le dialogue avec les élèves n'est plus de leur indiquer ce qu'ils doivent faire mais d'une part de recourir à ce genre de questions *si nécessaire*, d'autre part de contrôler, avec eux, la recevabilité de leurs propositions.
Avec notre outil, une fois le problème posé, tout document fourni ou toute activité entreprise ne doit apparaître en classe que parce qu'elle correspond à une demande d'élèves, à une nécessité ressentie par eux pour avancer, ou parce qu'elle en est un équivalent logique. Un autre rôle du professeur est ici d'être le pourvoyeur en documents ou en matériel. Le meilleur moyen de répondre à cette demande est d'y surseoir, en en prenant note en fin de séance afin de procurer aux élèves ce qui a été souhaité, et discuté, à la prochaine séance. Cette suspension constitue aussi un moment utile pour chercher les données relatives à une hypothèse imprévue, mais dont la logique a été reconnue, et, si l'on ne trouve rien, pour réfléchir à la manière d'y revenir avec les élèves.
Pour cet important travail sur le raisonnement des élèves, l'enseignant peut aussi décider, en situation d'investigation, d'*introduire des hypothèses supplémentaires*, en plus de celles qu'ils ont imaginées, même s'il les sait fausses (ou aussi bien si elles sont vraies), soit parce qu'il les connaît de l'histoire des sciences, soit qu'il s'agisse de celles émises dans un autre groupe ou une autre classe. Dans le monde de la recherche, les bonnes idées sont à tester quelle que soit leur provenance, et il n'est pas mauvais de cultiver chez les élèves le doute sur ce qu'ils reçoivent et l'habitude de la mise à l'épreuve.
On retrouve l'importance accordée par Dewey (1909) au fait de disposer de plusieurs hypothèses.

Cette manière de procéder en classe prend davantage de sens encore si les élèves peuvent réaliser, par l'analyse de cheminements scientifiques passés ou actuels, inventifs et tortueux, le parallèle qui existe entre leur travail en classe et celui des chercheurs –l'écart qui subsiste également : certaines parties des programmes se prêtent à de tels regards sur la science en marche. Mais afin de pouvoir évaluer l'outil en lui-même, sans cet apport complémentaire, il ne sera pas demandé aux enseignants de procéder à de telles analyses dans le même temps qu'ils mettent en œuvre cet outil.

Plan de réalisation des différentes étapes de la recherche

2002-2005 : Conception du modèle DiPHTeRIC et travail avec des enseignants du secondaire sur son application dans les classes.
2005-2006 : Constitution de l'équipe des professeurs collaborateurs, élaboration des pré- et post-tests et passation de ceux-ci dans différentes classes afin d'en évaluer la forme et la pertinence.
2006-2008 : "Expérimentation" dans les classes. Rédaction de la thèse.
Soutenance prévue fin 2008.

Références bibliographiques citées

Épistémologie et Histoire des Sciences

ANDLER, D., FAGOT-LARGEAULT, A., SAINT-SERNIN, B. (2002) *Philosophie des sciences* (2 vol.), Gallimard.
BACHELARD, G. (1932). « Noumène et microphysique ». *Recherches philosophiques*, I, Paris, pp. 55-65.
BACHELARD, G. (1934). *Le nouvel esprit scientifique*, PUF, 1987.
BACHELARD, G. (1935). *Les intuitions atomistiques*, Boivin.
BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*, Vrin, 1993.
BACON, F. (1605). *Du progrès et de la promotion des savoirs.* Gallimard, 1991.
BACON, F. (1620) *Novum Organum*, PUF, 1986.
BAJA, R. (1969). *La méthode biologique*, Paris, Masson et Cie.
BARTHOLY, M.-C., DESPIN, J.-P., GRANDPIERRE, G. (1978) *La Science. Épistémologie générale*, Magnard.
BELLONE, E. (1999). *Galilée*. Coll. « Les génies de la science », Ed. Pour la Science, novembre 1999.
BÉNÉZÉ, G. (1954) *La méthode expérimentale*, PUF, 1960.
BERNARD, C. (1850-60) *Le cahier rouge*, NRF Gallimard, 1942.
BERNARD, C. (1966) *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Garnier-Flammarion [1865].
BERNARD, C. (1947) *Principes de médecine expérimentale*, PUF, 1987.
CANGUILHEM, G. (1968) *Études d'histoire et de philosophie des sciences,* Vrin.
CHALMERS, A. (1976) *Qu'est-ce que la science ?*, La Découverte, 1987.
CHALMERS, A. (1990) *La fabrication de la science*, La Découverte, 1991.
CHEVREUL, M. E. (1845) *Journal des savants*, Juin 1845, pp. 321-337.
CHEVREUL, M. E. (1850) *Journal de savants*, février 1850.
CHEVREUL, M. E. (1865) *Distribution des connaissances humaines du ressort de la philosophie naturelle*, Didot.
COHEN, B. (1980). *The Newtonian Revolution*, Cambridge University Press.
COMTE, A. (1832). *Cours de philosophie positive*. Nathan, 1989.
CONDILLAC, E. B. de (1780). *Logique ou les premiers développements de l'art de penser*.
CROMBIE, A. C. (1959) *Histoire des sciences, de Saint Augustin à Galilée (400-1650)*, PUF [1952].
DESCARTES, R. (1637) *Discours de la Méthode* GF-Flammarion, 2000.
DESCARTES, R. (1644) *Principes de la philosophie,* in *Œuvres philosophiques III*, Garnier, 1998.
DIDEROT, D. (1753) *Pensées sur l'interprétation de la nature,* in *Œuvres tome I,* R. Laffont 1996.
DUHEM, P. (1906) *La théorie physique*, Vrin 1997.
DUHEM, P. (1908) *Σώζειν τά Φαινόμενα, essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée*, Vrin.
DURIS, P., GOHAU G. (1997) *Histoire des sciences de la vie*, Nathan Université.
EINSTEIN, A. (1934) *Mein Weltbild*, Ullstein, 2005.
FEYERABEND, P. (1975) *Contre la méthode*. Seuil, 1988.
FREDETTE, R. (2002). *D'où vient l'antiaristotélisme de Galilée ?* Québec : CIRST, mai 2002.
FOUREZ, G. (1988) *La construction des sciences*, De Boeck Université, 1996.
GALILÉE, G. (1632). *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*. Seuil, 1992.
GALILÉE, G. (1638). *Discours concernant deux sciences nouvelles*. Puf, 1995.
GAYON, J. (1996) Les réflexions méthodologiques de Claude Bernard : contexte et origines, *Bull. Hist. Épistém. Sci. Vie*, 1996, 3 (1), 75-92.
GEYMONAT, L. (1957). *Galilée.* Seuil, 1992.
GILBERT, W. (1600). *De Magnete.* Dover, 1991.
GIORDAN, A., dir. (1987) *Histoire de la biologie*. Technique et documentation, Lavoisier, 2 vol.
GOHAU, G. (1978) *Biologie et biologistes*, Magnard.
GOHAU, G. (1987) *Histoire de la géologie*, La Découverte.
GRMEK, M. (1973) *Raisonnement expérimental et recherches toxicologiques chez Claude Bernard*, Droz.
GRMEK, M. (1990) *La première révolution biologique,* Payot.
GRMEK, M. (1991) *Claude Bernard et la méthode expérimentale,* Payot.
GRMEK, M. (1997) *Le chaudron de Médée. L'expérimentation sur le vivant dans l'Antiquité*, Synthélabo.
GUICCIARDINI, N. (2003). *Newton, l'horloger du monde.* « Les génies de la science », Ed. Pour la Science, 11/2003.
GUYÉNOT, E. (1957). *Les sciences de la vie aux XVII^e^ et XVIII^e^ siècles.* Albin Michel.
HAMBURGER, J. (dir.). (1986). *La philosophie des sciences aujourd'hui*. Gauthier-Villars.
HARVEY, W. (1628). *De motu cordis*, Bourgois 1990.
HEMPEL, K. (1966) *Éléments d'épistémologie*, Armand Colin, 1996.
HERSCHEL, J. F. W., (1830) *A Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy*, The University of Chicago Press, 1987.
HUISMAN, D. et VERGEZ, A. (1994). *Philosophie*, *tome 2 : La connaissance*, Marabout.
JACOB, F. (1981) *Le jeu des possibles*, Fayard.
JACOB, F. (1987) *La statue intérieure*, Odile Jacob.
JARROSSON, B. (1992) *Invitation à la philosophie des sciences*, Seuil.
KANT, E. (1787) *Critique de la raison pure* (2° ed.), PUF, 1986.
KEPLER, J. (1596). *Le secret du monde.* Gallimard, 1993.
KEPLER, J. (1604). *Paralipomènes à Vitellion*. Vrin, 1980.
KEPLER, J. (1609). *Astronomie Nouvelle*, Albert Blanchard, 1986.
KOESTLER, A. (1960). *Les somnambules*. Calmann-Lévy.
KOYRÉ, A. (1939) *Études galiléennes.* Hermann, 1966.
KOYRÉ, A. (1957) *Du monde clos à l'univers infini.* Gallimard, 2003.
KOYRÉ, A. (1973) *Études d'histoire de la pensée scientifique.* Gallimard, 1998.
KUHN, T. (1962) *La Structure des révolutions scientifiques*, Flammarion, 1999.
LAKATOS, I. (1978) *Histoire et méthodologie des sciences*, PUF, 1994.
LASZLO, P. (1999) *La découverte scientifique*, PUF.
LAVOISIER, A.-L. de (1789), *Traité élémentaire de Chimie*, Discours préliminaire (pp. V-XXXII).
LECLERQ, R. (1960) *Histoire et avenir de la méthode expérimentale*, Masson.
LÉVY, P. (1970). *Quelques aspects de la pensée d'un mathématicien*, A. Blanchard.
LOEWI, O. (1960) *An Autobiographic Sketch*, Univ. of Chicago Press.

LOMBARDI, A. M. (2001). *Kepler, le musicien du ciel.* Coll. « Les génies de la science », Ed. Pour la Science, 08/ 2001.
LOSEE, J. (1972) *A Historical Introduction to the Philosophy of Science*, Oxford U.P., 2001.
MAURY, J.-P. (1990). *Newton et la mécanique céleste.* Gallimard.
MAYR, E. (1982) *Histoire de la biologie*, Fayard, 1995.
MEDAWAR, P.B. (1967) *The Art of the Soluble*. Methuen & Co. Ltd., London.
MEDAWAR, P.B. (1973) *The Hope of Progress*. Doubleday, New York.
MILL, J. S. (1843) *Système de logique*, Pierre Mardaga, 1988.
MINOIS, G. (2000). *Galilée*, PUF.
MONOD, J. (1970) *Le hasard et la nécessité*, Seuil.
MONOD, J. (1973). Préface à la traduction de *La logique de la découverte scientifique* de Popper, Payot.
NEWTON, I. (1687). *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*. Ed. Jacques Gabay, 1990.
NICOLLE, C. (1932). *Biologie de l'invention*, Félix ALCAN.
NICOLLE, J-M. (1994) *Histoire des méthodes scientifiques*, Bréal.
OLDROYD, D. (1986) *The Arch of Knowledge.* Kensington (Australie) : NSW University Press.
POINCARÉ, H. (1905). *La valeur de la science,* Paris, Flammarion, 1970.
POPPER, K. (1934) *La logique de la découverte scientifique*, Payot, 1989.
POPPER, K. (1963) *Conjectures et réfutations*, Payot, 1994.
REICHENBACH, H. (1930), "Kausalitat und Wahrscheinlichkeit", *Erkenntnis* I, 158-188.
RONAN, C. (1983) *Histoire mondiale des sciences*, Seuil, 1988.
ROSMORDUC, J. (1985) *Une histoire de la physique et de la chimie*, Seuil.
ROSTAND, J. (1945) *Esquisse d'une histoire de la biologie*, Gallimard, 1973.
SARTON, G. (1970) *A history of science*, The Norton Library.
SENEBIER, J. (1783) *Expériences sur la digestion de l'homme et de différentes espèces d'animaux ; par l'abbé Spallanzani, avec des considérations sur la méthode de faire des expériences*, B. Chirol, Genève.
SENEBIER, J. (1802) *Essai sur l'art d'observer et de faire des expériences*, J.-J. Paschoud, Genève, an X.
SERRES, M. (dir.), (1989) *Éléments d'histoire des sciences*, 1997.
SHAPIN, S. (1996) *La révolution scientifique*, Flammarion,1998.
SHEA, W. (1972) *La révolution galiléenne.* Le Seuil, 1992.
SINGER, C. (1934). *Histoire de la biologie.* Payot.
STENGERS, I. (1993) *L'invention des sciences modernes*, Flammarion, 1995.
TAYLOR, G. R. (1963). *Histoire illustrée de la biologie*, Hachette.
THÉODORIDÈS, J. (1965) *Histoire de la biologie*, PUF.
THOM, R. (1986) *La méthode expérimentale, un mythe des épistémologues (et des savants ?)*, in *La philosophie des sciences aujourd'hui*, Gauthier-Villars.
THUILLIER, P. (1983). « Galilée et l'expérimentation ». *La Recherche* n°143, avril 1983.
TOULMIN, S. (1961) *L'explication scientifique*, Armand Colin, 1973.
VERHAEGHE, J-C., WOLFS, J. L., SIMON, X., COMPÈRE, D. (2004) *Pratiquer l'épistémologie. De Boeck.*
WAGNER, P. (dir.) (2002) *Les philosophes et la science*, Gallimard.
WATSON, J. (1968). *La double hélice*. Seuil.
WHEWELL, W. (1840) *De la construction de la science*, Vrin, 1938.
WHEWELL, W. (1860) *On the Philosophy of Discovery.* B. Franklin, New York, 1971.
WOLFF, E. (1963). *Les chemins de la vie*. Hermann.

Didactique

ASTER Collectif (1987), *Didactique et histoire des sciences*, INRP, n° 5.
ASTER Collectif (1991), (VÉRIN, A., coord.), *L'élève épistémologue,* INRP, n°12.
ABELL, S. K., & SMITH, D. C. (1994). "What is science? Preservice elementary teachers' conceptions of the nature of science". *International Journal of Science Education,16*, 475-487.
ASTOLFI, J.-P., GIORDAN, A., GOHAU, G., HOST, V., MARTINAND, J.-L., RUMELHARD, G., ZADOUNAÏSKY, G. (1978) *Quelle éducation scientifique pour quelle société ?* PUF.
ASTOLFI, J.-P., CAUZINILLE E., GIORDAN A., HENRIQUES A., MATHIEU J., WEIL A. (1984) *Expérimenter : sur les chemins de l'explication scientifique*, Privat.
ASTOLFI, J.-P. (1997) *L'erreur, un outil pour enseigner*, ESF.
ASTOLFI, J-P., PETERFALVI, B. VÉRIN, A. (1998) *Comment les enfants apprennent les sciences*, Retz.
ASTOLFI, J.-P. (2002). « L'œil, la main, la tête ». *Expérimenter*, *Cahiers pédagogiques* n°409.
ASTOLFI, J-P. (2005). « Construire le savoir scientifique par l'experimentation? » *Résonances* No 8, mai 2005.
BALACHEFF, N. (1988). « Le contrat et la coutume, deux registres des interactions didactiques. » In : C. Laborde (Ed.) *Premier Colloque Franco-Allemand de Didactique des Mathématiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
BOMCHIL, S., DARLEY, B. (1998) « L'enseignement des sciences expérimentales est-il vraiment inductiviste ? » *Aster* n° 26, INRP.
BOYER, R. et TIBERGHIEN, A. (1989) "Des opinions de professeurs d'élèves sur l'enseignement des sciences Physiques au lycée", *Bulletin de l'Union des Physiciens* n° 712.
BRICKHOUSE, N.W. (1989). "The teaching of the philosophy of science in secondary classrooms: Case studies of teachers' personal theories". *International Journal of Science Education*, 11, 401-415.
BRICKHOUSE, N.W. (1990). Teachers' beliefs about the nature of science and their relationship to classroom practice. *Journal of Teacher Education*, 41, 53-62.
BROUSEAU, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématique, in: *Recherche en didactique des mathématiques*, 7 (2), p.33-114. Repris dans: Brun, Jean (dir.) (1996). *Didactique des mathématiques*. Paris & Neuchâtel, Delachaux & Niestlé, pp.45-97.
BROUSSEAU, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble, la Pensée Sauvage.
BRUNET, P. (1996). *Le statut de l'expérimental dans l'enseignement de la biologie.* Mémoire de DEA : ENS Cachan.
BRUNET, P. (1998). « Enseigner et apprendre par problèmes scientifiques dans les sciences de la vie. État de la question. » Aster n°27, INRP.
CARIOU, J.-Y. (2002). « La formation de l'esprit scientifique - trois axes théoriques, un outil pratique : DiPHTeRIC », *Biologie-Géologie* n°2-2002, APBG.
CHARPAK, G. (2004), « puRkwa, notre contribution à la démocratie », *Ressorts* n°5, ENS des Mines de Saint-Etienne.
CHEVALLARD, Y. & JOSHA, M.-A. (1991). *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné.* Grenoble : La Pensée Sauvage.
CLAPARÈDE, E. (1905). *Psychologie de l'enfant et pédagogie expérimentale,* Delachaux et Niestlé, 1946.
CLAPARÈDE, E. (1913). « Discat a puero magister ». *Bulletin trimestriel de l'Amicale primaire de l'Ain*, oct. 1913.
CLAPARÈDE, E. (1917). « La psychologie de l'intelligence ». *Scientia*, vol. 22, 1917, pp. 353 - 368.
CLAPARÈDE, E. (1919). « Les nouvelles conceptions éducatives et leur vérification par l'expérience », *Scientia*, vol. 25.
CLAPARÈDE, E. (1923). « La psychologie de l'école active », *L'Educateur*, LIX (23), 371-379, cité *in* Hameline, 1995.

CLÉMENT, P. (1998) La biologie et sa didactique, dix ans de recherche . *Aster*, 27. INRP.
COHEN-TANNOUDJI, C. (2004) « La démarche scientifique développe le respect de l'autre », *Ressorts* n°5, ENS des Mines de Saint-Etienne, p. 5.
COQUIDÉ, M. (1998) Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster* n° 26.
DARLEY, B. (1993). « Options épistémologiques exprimées par les enseignants-chercheurs et les enseignants du secondaire sur la démarche expérimentale ». *In* Giordan, A., Martinand, J.-L., Raichvarg, D. (éds), *Actes des XV*^{es} Journées Internationales sur la Communication, l'Éducation et la Culture Scientifiques et Techniques de Chamonix (pp. 537-544). LIREST, Université de Paris 7.
DARLEY, B. (1996). « Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en Deug 2ème année ». *Didaskalia* Volume 9, décembre 1996, pp. 31-56.
DEBOER, G.E. (1991). *A History of Ideas in Science Education*. New York : Teachers College Press.
DELEDALLE, G. (1995), *John Dewey,* PUF.
DEMOUNEM, R., ASTOLFI, J.-P (1996) *Didactique des sciences de la vie et de la Terre*. Nathan.
DÉSAUTELS, J. (1980). *Ecole + Science = Echec*, Québec Science Editeur.
DÉSAUTELS, J. & NADEAU, R. (1984). *Epistémologie et didactique des sciences.* Conseil des sciences du Canada.
DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M., GAGNÉ, B. & RUEL, F. (1993). « La formation à l'enseignement des sciences, le virage épistémologique. ». *Didaskalia*, n°1, septembre 1993.
DE VECCHI, G., CARMONA-MAGNALDI, N. (1996). *Faire construire des savoirs*, Hachette Éducation.
DE VECCHI, G., CARMONA-MAGNALDI, N. (2002). *Faire vivre de véritables situations-problèmes*, Hachette Éducation.
DE VECCHI, G. (2004). *Une banque de situations-problèmes tous niveaux,* tome I, Hachette Éducation.
DEVELAY, M. (1989) Sur la méthode expérimentale, *Aster*, 8, INRP.
DEWEY, J. (1884). "The New Psychology", *Andover Review*, *2*, 278-289.
DEWEY, J. (1896), "Interest in relation to training of the will", trad. "l'intérêt et l'éducation de la volonté", *in* Deledalle, G. (1995), pp. 46-63.
DEWEY, J. (1897), *My pedagogical creed*, trad. "Mon credo pédagogique", *in* Deledalle, G. (1995), pp. 111-125.
DEWEY, J. (1909) *Comment nous pensons*, Flammarion, 1925.
DUCRET, J.-J. (2004). Méthode clinique-critique piagetienne. (Genève, SRED).
http://www.geneve.ch/sred/collaborateurs/pagesperso/d-h/ducretjean-jacques/Methode_critique.pdf
DUMAS-CARRÉ, A., CAILLOT, M., MARTINEZ TORREGROSSA, J. & GIL, D. (1989). « Deux approches pour modifier les activités de résolution de problèmes en physique dans l'enseignement secondaire : une tentative de synthèse ». *Aster* n°8, INRP.
DUPONT, M. (1992). « Quelques problèmes posés par l'évaluation des raisonnements en sciences chez les élèves ». *Aster* n°15.
DUSCHL, R.A. & WRIGHT, E. (1989). "A case study of high school teachers' decision-making models for planning and teaching science". *Journal of Research in Science Teaching*, 26, pp. 467-502.
FABRE, D. (1995). « Conceptions de l'erreur et rupture épistémologique ». *Revue française de pédagogie*.
FABRE, D. (1999). *Situations-problèmes et savoirs scolaires*, Paris, PUF.
FREINET, C. (dir.) (1962). *L'enseignement des sciences*. Bibliothèque de l'Ecole Moderne, 11-12.
FURIO MAS, J. C., BARRENETXEA, J.I. & REYES MARTIN, J.V. (1994). « La "résolution de problèmes comme recherche" : Une contribution au paradigme constructiviste de l'apprentissage des sciences ». *Aster* n°19.
GESS-NEWSOME, J., & LEDERMAN, N. G. (1995). "Biology teacher's perceptions of subject matter structure and its relationship to classroom practice". *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 301-325.
GIL, D. (1991). « ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias? ». *Enseñanza de las ciencias*, 9 (1).
GIL-PÉREZ, D. (1993) Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique. *Aster* 17, INRP.
GIORDAN, A. (1976) *Rien ne sert de courir, il faut partir à point*. Thèse (Paris V et Paris VII).
GIORDAN, A. (1978) *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*. Centurion.
GIORDAN, A. *&* DE VECCHI, G. (1987). *Les origines du savoir*, Delachaux et Niestlé.
GIORDAN, A. *&* DE VECCHI, G. (1989) *L'Enseignement scientifique : Comment faire pour que "ça marche" ?*, Z'Éditions.
GIORDAN, A., GUICHARD, F., GUICHARD, F. (1997) *Des idées pour apprendre*, Z'éditions.
GIORDAN, A (1998). *Apprendre !*, Débats-Belin.
GIORDAN, A. (1999). *Une didactique pour les sciences expérimentales*. Belin.
GIORDAN, A. (2002). « C'est quoi ? Maîtresse… » *Cahiers pédagogiques* n°409, 12/2002.
GOHAU, G. (1976). « Deux esprits scientifiques », *Cahiers pédagogiques* n° 141.
GOHAU, G. (1981). "Difficulties inherent in a pedagogy of discovery in the teaching of the sciences", in Grmek, M. D., Cohen, R.S., Cimino, G. (eds), *On scientific discovery : the Erice lectures 1977*, D. Reidel Publ. Company, Dordrecht, pp. 147-167, publié en France in *Aster* n°5, 1987, INRP.
GOHAU, G. (2002). « Redécouverte d'hier et d'aujourd'hui ». In Hulin, N. (éd.), 2002.
GORDON, D. (1984). « The Image of Science, Technological Consciousness and Hidden Curriculum ». *Curriculum Inquiry*, 14 (4), 367-400.
GROSBOIS, M., RICCO, G., SIROTA, R. (1992). *Du laboratoire à la classe, le parcours du savoir. Étude de la transposition didactique du concept de respiration.* Paris : Adapt.
GUEDJ, M. (2005). « Utiliser des textes historiques dans l'enseignement des sciences physiques en classe de seconde des lycées français :compte rendu d'innovation ». *Didaskalia* n°26.
GUICHARD, J. (1998) *Observer pour comprendre*, Hachette Éducation.
HAMELINE, D. (1993). "Édouard Claparède (1873-1940)". *Perspectives : revue trimestrielle d'éducation comparée* (UNESCO : Bureau international d'éducation), vol. XXIII, n° 1-2, mars-juin 1993, pp. 161-173.
HAMELINE, D. (1995). *L'école active. Textes fondateurs*, PUF.
HÉRAIL, P. (1959). "Méthode expérimentale et cryptodogmatisme ", *Bull. Union des Naturalistes*, 3-1959.
HODSON, D. (1988). "Toward a philosophically more valid science curriculum". *Science Education* 72 (1).
HOST, V. (1980). « Les Opérations intellectuelles en activités d'éveil scientifiques », *Repères* n°58, INRP.
JOSHUA, S. (1989). « Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire », *Aster*, 8.
JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1993) *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, PUF.
KOULAIDIS, V. & OGBORN, J. (1989). "Philosophy of Science : An Empirical Study of Teacher's Views", *International Journal of Science Education*, 11 (2), pp. 173-184.
LAKIN, S. & WELLINGTON, J. (1994). "Who will teach the 'nature of science'?: teachers' views of science and their implications for science education". *International Journal of Science Education*, 16 (2), pp. 175-190.
LALANNE, J. (1985) « Le développement de la pensée scientifique (orientation biologique) chez les enfants de 6 à 14 ans ». *Aster*, 1. INRP.
LANTZ, O. & KASS, H. (1987). "Chemistry teacher's functionnal paradigms". *Science Education*, 71, 117-134.
LEBEAUME, J. (2003). « Histoire et épistémologie des disciplines : quel projet pour la formation des maîtres ? » *Didaskalia* n°23.
LEDERMAN, N.G. & DRUGER, M. (1985). "Classroom factors related to changes in students' conceptions of the nature of science". *Journal of Research in Science Teaching*, 22, 649-662.
LEDERMAN, N.G., & ZEIDLER, D.L. (1987). "Science teachers' conceptions of the nature of science: Do they really influence teaching behavior?" *Science Education*, 71, 721-734.

LEDERMAN, N.G. (1992). “Students' and teachers' conceptions about the nature of science: A review of the research”. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 331-359.
LEROY, G. (1970). Le dialogue en éducation : Enquête sur le dialogue scolaire, PUF.
MARTINAND, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
MARTINAND, J.-L. (1993). « Histoire et didactique de la physique et de la chimie: quelles relations ? » *Didaskalia* n°2.
MARTINAND, J.-L. (2002). « Faut-il vraiment faire rencontrer les grandes œuvres scientifiques et techniques à tous les élèves ? » *Cahiers pédagogiques*, n° 402.
MATHY, P. (1997) *Donner du sens aux cours de sciences*, de Boeck Université.
MATTHEWS, M. (1994) *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*, Routeledge.
MEIRIEU, P. (1987) *Apprendre… Oui, mais comment*. ESF.
MEIRIEU, P. (2001). *Célestin Freinet : comment susciter le désir d'apprendre ?* PEMF.
MONCHAMP, A. (1993) in J. Colomb (dir.), *Les enseignements en Troisième et en Seconde, ruptures et continuités,* INRP.
ORLANDI, E. (1991). Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale, *Aster* 13, INRP.
ORANGE, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*, PUF.
ORANGE, C. (2002). « L'expérimentation n'est pas la science ». *Cahiers pédagogiques* n°409, 12/2002.
PELLAUD, F., EASTES, R.-E. & GIORDAN, A. (2005). « Un modèle pour comprendre l'apprendre : le modèle allostérique », in *Gymnasium Helveticum*, janvier 2005.
PACCAUD, M. et VUALA, J. (1999). *Biologie - géologie - concours de professeur des écoles*. Hatier.
PATY, M. (1976). « Science, retour aux sources et fondements ». *La Recherche* n°69, juillet-août 1976.
PIAGET, J. (1926) *La représentation du monde chez l'enfant*, PUF 2003.
PIAGET, J. (1935). « Remarques psychologiques sur le travail par équipes ». *Le travail par équipes*, Genève, BIE.
PIAGET, J. (1944). « L'éducation de la liberté ». *L'école bernoise*, Berne, n+77, p. 297-299.
PIAGET, J. (1949). « Remarques psychologiques sur l'enseignement élémentaire des sciences naturelles ». *L'initiation aux sciences naturelles à l'école primaire*, Genève, BIE, pp. 35-45.
PIAGET, J. (1972) *Où va l'éducation ?*, Folio essais 1988.
POPE, M. & GILBERT, J. (1983). « Personnal Experience and the Construction of Knowledge in Science ». *Science Education*, 67 (2), 193-203.
PORLAN, R. (1995). « Las creencias pedagogicas y cientificas de los profesores ». *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 3 (1), 7-13.
PORLAN ARIZA, R., & al. (1998). « Les obstacles à la formation professionnelle des professeurs en. rapport avec leurs idées sur la science, l'enseignement et l'apprentissage », *Aster* n°26.
ROBARDET, G. (1990). « Enseigner les sciences physiques à partir de situations – problèmes », *Bull. Un. Phys.* n° 720.
ROBARDET, G. (1994). « La formation des enseignants de sciences physiques et le mythe naturaliste », *in* Actes du 4° Séminaire National de Recherche en Didactique des Sciences physiques, Amiens, 16-18 octobre 1994 (pp. 4-22).
ROBARDET, G., GUILLAUD, J.-C. (1997) *Éléments de didactique des sciences physiques*, PUF.
ROBARDET, G. & VÉRIN, A. (1998). « L'enseignement scientifique vu par les enseignants ». *Aster* n°26, INRP.
J. ROSMORDUC, J. (1995). « L'histoire des sciences dans la formation scientifique des maîtres de l'école élémentaire ». *Didaskalia* n°7.
ROLETTO, E. (1998). « La science et les connaissances scientifiques : points de vue de futurs enseignants ». *Aster* n°26.
ROSTAND, J. (1966) Discours prononcé pour le centenaire de la ligue de l'enseignement, in *Rostand, un biologiste engagé*. Coll. « Les génies de la science », Ed. Pour la Science, mai-août 2001, p. 43.
ROUSSEAU, J.-J. (1762). *Émile ou de l'éducation.* GF Flammarion, 1966.
RUMELHARD, G. (1997). « Problématiser le vivant ». In *La problématique d'une discipline à l'autre*, ADAPT.
RUMELHARD, G ; (2000) « Sciences de la vie, philosophie, sciences humaines ». *Aster* n°30, INRP.
SCHNEIDER, J.-H. (2000). « John Dewey in France », *Studies in Philosophy and Education* 19: 69–82.
STAKE, R.E. & EASELY, J.A. (1978). *Case Studies in Science Education*. Washington : US Government Printing Office.
STENGERS, I., et SCHLANGER, J. (1989). *Les concepts scientifiques : invention et pouvoir*, La Découverte.
STENGERS, I. (1992). *Le rôle possible de l'histoire des sciences dans l'enseignement*. Montréal: « Le rôle possible de l'histoire des sciences dans l'enseignement ». Montréal : UQAM, *Cahier du CIRADE*, no 65.
STEVENS, P. (1978). « On the Nuffield Philosophy of Science ». *Journal of Philosophy of Education*, 12, 99-111.
SYRING, R. (2005) “The Scientific Mind and HIV/AIDS”, contribution au colloque international *Building the Scientific Mind* du *Learning Development Institute*, La Haye, Pays-Bas, 17-20 mai 2005. http://www.learndev.org/dl/BtSM2005-Syring.pdf.
TOBIN, K. & GALLAGHER, J. J. (1987). “What happens in high school sciene classrooms?”. *Journal of Curriculum Studies*, 19 (6), pp. 549-560.
TOZZI, M. (2000). « Portrait ». *Esprit critique, es-tu là ? Cahiers pédagogiques* n°386, septembre 2000.
VÉRIN, A. (1998). « Enseigner de façon constructiviste, est-ce faisable ? », *Aster* n°26.

Textes officiels historiques et analyses de l'histoire de l'enseignement scientifique

CONDORCET (1791), *Cinq mémoires sur l'instruction publique*. Présentation, notes, bibliographie et chronologie part Charles Coutel et Catherine Kintzler. Garnier-Flammarion, 1994.
CONDORCET (1792), *Rapport sur l'organisation générale de l'Instruction publique.* in *Une éducation pour la démocratie. Textes et projets de l'époque révolutionnaire*, prés. par B. Baczko, Droz 2000.
HULIN, N. (éd.) (2000). *Physique & humanités scientifiques.* Septentrion.
HULIN, N. dir. (2002) *Sciences naturelles et formation de l'esprit. Autour de la réforme de l'enseignement de 1902*. Presses Universitaires du Septentrion.
HULIN, N. (éd.) (2002). *Sciences naturelles et formation de l'esprit.* Septentrion.
KAHN, P. (1999). *De l'enseignement des sciences à l'école primaire*. Hatier.
KAHN, P. (2002). *La leçon de choses*. Septentrion.
LAKANAL, J. (1794), *présentation à la Convention d'un projet de décret sur les écoles primaires* (28 octobre 1794).
TERRAL, H. (1999). L'école de la République. Une anthologie (1878-1940). CNDP.

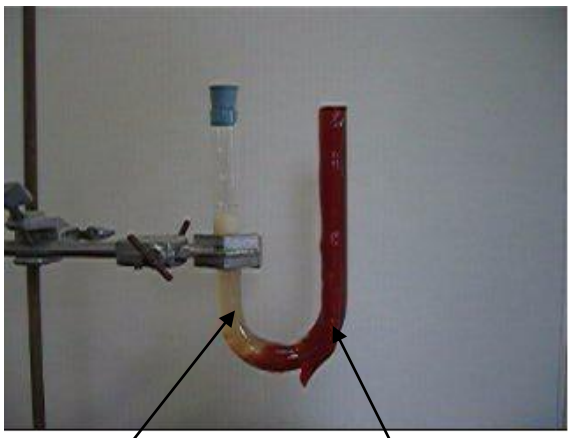
Annexe 1 : ***exemple de pré-test***

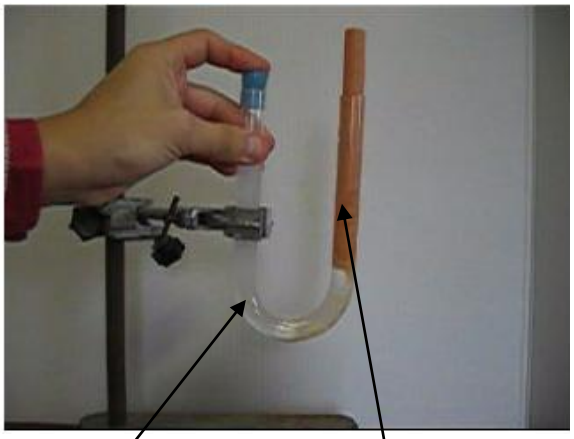
PRÉ-TEST **n°4** : Volcans rouges et gris

Établissement :	Date :
Classe :	**Ceci n'est pas une évaluation**

Un explorateur se demande pourquoi existent dans le monde deux grands types de volcans :
- les "rouges" dont la lave s'écoule facilement ;
- les "gris" dont la lave s'écoule mal et s'accumule en formant des bouchons compacts qui peuvent être évacués par blocs entiers, en explosant.

Il pense que c'est dû à l'existence de deux sortes de laves : l'une plus fluide, l'autre plus visqueuse.
Pour savoir si c'est bien ce qui se passe dans les volcans, il réalise les expériences suivantes :





Source des photos : http://artic.ac-besancon.fr/svt/act_ped/svt_clg/cycle/central/laves/laves.htm

Le ketchup, assez liquide, est expulsé du tube par le gaz et **coule** le long du verre.	Le mélange "purée - ketchup", pâteux, est expulsé du tube par le gaz et sort par **blocs compacts** entiers.

Le montage de gauche représente pour notre explorateur-expérimentateur un volcan "rouge" (qui aurait une lave fluide), le montage de droite, un volcan "gris" (qui aurait une lave visqueuse).

Voici sa **conclusion** :
« Grâce à ces expériences **je sais désormais ce qui se passe** dans les deux sortes de volcans : les "rouges" ont une lave fluide comme du ketchup qui s'écoule aisément, tandis que les "gris" ont une lave bien plus visqueuse qui s'accumule, fait bouchon, et tout finit par exploser ! »

➔ Que penses-tu de cette **conclusion** ?

Annexe 2

FICHE DE RECUEIL DES PROPOSITIONS D'ÉLÈVES

PROFESSEUR :	PERIODE DU AU	CLASSE :

Problème ou Question :

PROPOSITIONS des élèves

HYPOTHÈSES :	TESTS ou MOYENS :

Estimation par le professeur…

…de la qualité de la discussion par les élèves de la recevabilité des hypothèses (4 = maximum)	0	1	2	3	4

…de la spontanéité à passer d'une étape à l'autre dans la démarche (4 = maximum)	0	1	2	3	4